

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2010**

**Petr Král**

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra měřicí a řídicí techniky**

**Odměřovací jednotka polohy pro obráběcí stroje**

**Machine Tool Position Metering Unit**

**2010**

**Petr Král**

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Petr Král**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2601R004 Měřicí a řídicí technika

Téma:

Odměřovací jednotka polohy pro obráběcí stroje  
Machine Tool Position Metering Unit

Zásady pro vypracování:

1. Problematika odměřování polohy pro obráběcí stroje.
2. Návrh jednotky pro odměřování polohy pro daný počet os.
3. Realizace, testy a porovnání s dostupnými typy jednotek.
4. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. MARTINEK, Radislav. Senzory v průmyslové praxi. 1.vyd. Praha: BEN-technická literatura, 2004. 200s. ISBN 80-7300-114-4.
2. NYCE, David S. Linear Position Sensors: Theory and Application. 1st Edition. Hoboken: Wiley Interscience, John Wiley & Sons, 2004. 183p. ISBN 978-0-471-23326-8.
3. FRADEN, Jacob. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. 3rd Edition. Springer-Verlag: Berlin / Heidelberg, 2004. 590p. ISBN-10 0387007504.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

*Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.*

*Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.*

.....  
*Petr Král*

*Datum odevzdání bakalářské práce: 7.5.2010*

## Poděkování

*Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Slaninovi, Ph.D. za odborné rady, které mi v průběhu zpracování poskytl a všem, kteří mi s vytvořením této bakalářské práce pomáhali.*

## **Abstrakt**

Tato práce zahrnuje problematiku odměřování polohy u obráběcích strojů. Obsahuje teoretickou část s vysvětlením základních principů snímačů polohy a také číslicových indikátorů polohy. Hlavní část popisuje vlastní konstrukci číslicové jednotky polohy včetně návrhu, schémat zapojení a programu jednotky. Také porovnává komerčně vyráběné jednotky polohy s navrženou konstrukcí a podává podrobný přehled jejich vlastností. Celý text je doplněn názornými obrázky.

## **Abstract**

This work comprises problems of position metering on tool machines. It includes theoretical part, in which explains basic principles of position sensors and also metering units. The main part describes a construction of metering unit including design, circuit diagrams and its program. It also compares the commercially made units with the proposed construction and gives detailed overview of their properties. The whole text is supplemented by descriptive pictures.

## **Klíčová slova**

Obráběcí stroj, Inkrementální snímač, Kvadrurní signál, Číslicová indikace

## **Keywords**

Machine tool, Incremental encoder, Quadrature signal, Metering unit

## Seznam použitých symbolů a zkratek

ARC	Absolute Rotary Encoder – absolutní rotační snímač
CNC	Computer numerical control – číslicové řízení
DA	Data Available - výstupní signál obvodu
DPS	Deska plošných spojů
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory – elektricky mazatelná paměť
IRC	Incremental rotary encoder – inkrementální rotační snímač
PWM	Pulse Width Modulation – pulsně šířková modulace
RS-232	Recommended Standard 232 - sériová linka
RS-422	Recommended Standard 422 - sériová linka
SPI	Serial Peripheral Interface Bus - sériové periferní rozhraní
TTL	Transistor transistor logic – logické obvody na bázi tranzistorů
USART	Addressable universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter - synchronní a asynchronní sériové rozhraní

# Obsah

<b>1.</b>	<b>Úvod</b>	1
<b>2.</b>	<b>Snímače polohy</b>	2
2.1	Základní rozdělení	2
2.2	Induktivní snímače polohy	3
2.2.1	Induktosyn	3
2.2.2	Selsyn	4
2.3	Optoelektronické snímače polohy	5
2.3.1	Inkrementální rotační snímače (IRC)	5
2.3.2	Absolutní rotační snímače (ARC)	6
2.3.3	Lineární optoelektronické snímače polohy	7
2.4	Magnetické snímače polohy	8
<b>3.</b>	<b>Číslicové indikace polohy</b>	10
<b>4.</b>	<b>Popis návrhu jednotky</b>	11
4.1	Volba hardware	11
4.1.1	HCTL-2032	11
4.1.2	PIC 16F877A	16
4.1.3	MAX 7219	18
4.1.4	MM74C923	20
4.1.5	MAX232	22
4.1.6	Napájení jednotky	24
4.1.7	Snímače polohy	24
<b>5.</b>	<b>Popis konstrukce</b>	26
5.1	MikroC	26
5.1.1	Popis programu jednotky	27
5.2	Eagle	28
<b>6.</b>	<b>Popis ovládání jednotky</b>	29
6.1	Nastavení odměřování	29
6.2	Popis funkcí	29
<b>7.</b>	<b>Popis komerčně vyráběných číslicových indikací</b>	32
7.1	NS-115R	32
7.2	IP-390	33
<b>8.</b>	<b>Závěr</b>	36
	<b>Použitá literatura</b>	38
	<b>Seznam příloh</b>	40



## Seznam obrázků

Obr. 1 - Lineární induktosyn.....	3
Obr. 2 - Umístění měřítka a jezdce na stroji.....	4
Obr. 3 - Inkrementální rotační snímač .....	5
Obr. 4 - Průběh signálů inkrementálního rotačního snímače .....	6
Obr. 5 - Konstrukční uspořádání absolutního snímače .....	7
Obr. 6 - Průběh signálů absolutního rotačního snímače ARC.....	7
Obr. 7 - Schematické zobrazení optoelekt. lineárního snímače Heidenhain LS186C .....	8
Obr. 8 - Magnetorezistivní princip snímání .....	9
Obr. 9 - Blokové schéma jednotky .....	11
Obr. 10 - Blokové schéma obvodu HCTL-2032 .....	12
Obr. 11 - Časový průběh signálů při průchodu filtrem .....	13
Obr. 12 - Rozložení konektorů mikrokontroléru PIC16F877A.....	17
Obr. 13 - Blokové schéma mikrokontroléru PIC16F877A .....	18
Obr. 15 - Blokový diagram obvodu MM74C923.....	20
Obr. 16 - Zapojení obvodu MM74C922 (923).....	21
Obr. 17 – Zapojení obvodu MAX232 .....	22
Obr. 18 – Simulace v programu Proteus .....	23
Obr. 19 – USART Terminál překladače MikroC .....	23
Obr. 20 – Optoelektrický snímač IRC120/1250.....	24
Obr. 21 - Odzkoušení zapojení na nepájivém poli .....	26
Obr. 22 – Volba změny inkrementu .....	29
Obr. 23 – Obě položky menu .....	29
Obr. 24 – Funkce jednotky .....	29
Obr. 25 – Zobrazené palce .....	30
Obr. 26 – Aktivování funkce inkrementálního režimu.....	30
Obr. 27 – Zadaná hodnota osy X.....	30
Obr. 28 – Zadaná hodnota osy Y.....	31
Obr. 29 - NS-115R .....	32
Obr. 30 - IP-390 .....	34

## Seznam tabulek

Tab. 1 - Sekvence čtení jednotlivých bajtů .....	14
Tab. 2 - Nastavení signálů SEL1,2 pro načítání.....	14
Tab. 3 - Nastavení signálů EN1,2 pro nastavení rozlišení .....	15
Tab. 4 - Zapojení konektoru snímače.....	25
Tab. 5 - Parametry snímače IRC120/1250 .....	25
Tab. 6 - Parametry jednotky NS-115R.....	33
Tab. 7 - Parametry jednotky IP-390 .....	34

# 1. Úvod

Digitální odměřování polohy je důležitou součástí výroby v různých odvětvích. Je to dnes již standardní výbava každého obráběcího stroje, ale i moderní prvek u starších, ručně ovládaných strojů. Použití digitálního odměřování zvyšuje komfort obsluhy stroje, efektivnost, kvalitu a produktivitu práce. Číslicová indikace bývá kromě základních funkcí vybavena různými výpočetními a paměťovými funkcemi, které dále zjednodušují obsluhu. Údaj o poloze osy je vyhodnocen snímačem a tento rotační nebo lineární pohyb je převeden na elektrický signál. Tento signál je zpracován obvody číslicové indikace a zobrazen na displeji.

Hlavním cílem této bakalářské práce je návrh a konstrukce číslicové odměřovací jednotky polohy. Jednotka by měla být navržena pro odměřování polohy osy obráběcího stroje, ale i univerzálního použití a zpracovávat signály z inkrementálního snímače s přesností až  $1\mu\text{m}$ . Hlavní důraz je kladen na bezchybné odměřování, dobrou čitelnost displeje a snadnou obsluhu se základními funkcemi přístroje.

## 2. Snímače polohy

### 2.1 Základní rozdělení

Odměřovací zařízení slouží k odměřování ujeté dráhy, nebo úhlového natočení a do značné míry ovlivňuje výslednou přesnost zařízení. V zásadě lze rozdělit odměřování podle umístění na: [1]

- přímé
- nepřímé

U přímého odměřování je zařízení umístěno přímo na pohybujících se částech stroje např. suportu, stolu. Přímé odměřování se vyznačuje větší přesností, protože závisí jen na přesnosti snímače. Používá se u velmi přesných strojů, zejména souřadnicových vrtáček, vyvrtávaček a obráběcích center. Tento způsob odměřování je nákladnější. [1]

U nepřímého odměřování je snímač polohy umístěn na posuvovém kuličkovém šroubu a to buď přímo nebo pomocí převodu. Dráha pohybové části stroje se odměřuje nepřímo a závisí na pootočení kuličkového šroubu nebo jeho převodu. Nevýhodou tohoto způsobu odměřování je, že nepřesnosti pohonu, kuličkového šroubu, převodu i vlivy silových účinků na snímač polohy se přenáší do vlastního měření. Tento způsob je rozšířen pro svoji jednoduchost a cenu. [1]

Z hlediska principu můžeme odměřování dále rozdělit na:

- analogové ( spojité ) - plynule přeměňují vstupní veličinu na jinou fyzikální veličinu např. odpor, kapacitu, indukčnost apod.
- číslicové ( impulsní ) - jejich velkou výhodou je možnost přímého zpracování naměřené polohy v číslicové formě, vysoká rozlišovací schopnost, spolehlivost. Číslicové snímače můžeme dále dělit na
  - inkrementální ( přírůstkové ) - poloha je měřena vůči předchozímu bodu
  - absolutní - poloha je měřena vzhledem k referenčnímu bodu

konstrukční dělení

- rotační
- lineární

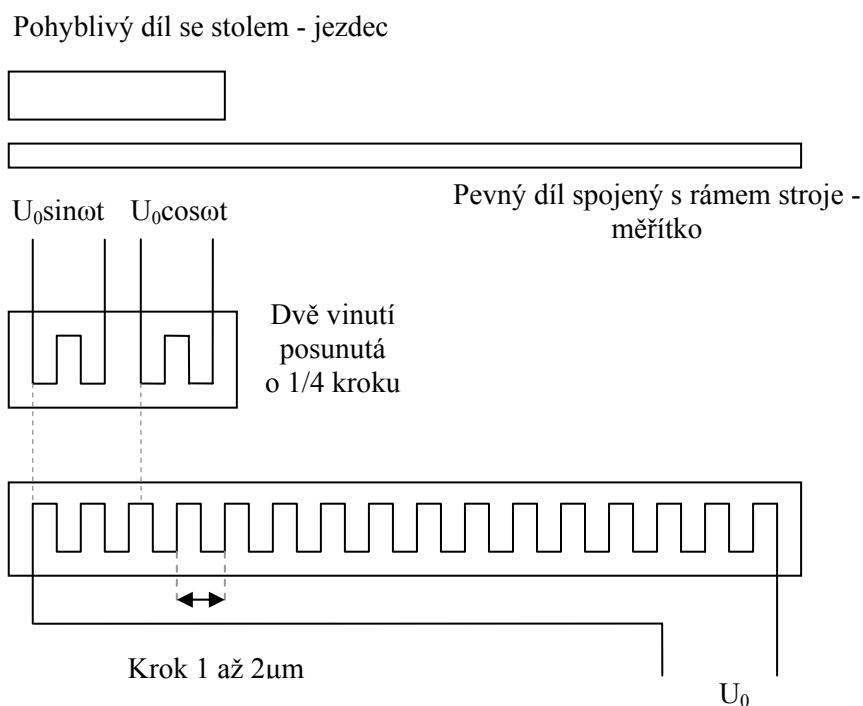
Pro odměřování polohy u obráběcích strojů se používají tyto typy snímačů

- induktivní
- optoelektronické
- magnetické

## 2.2 Induktivní snímače polohy

### 2.2.1 Induktosyn

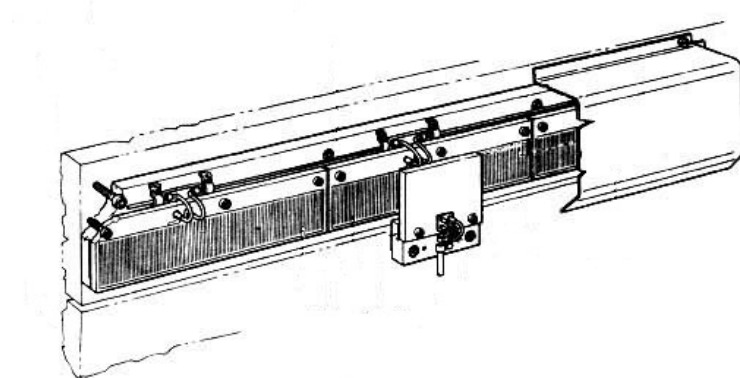
Induktosyn byl původně firemní název typového provedení měřitek firmy Farand, který zevšeobecněl. Jedná se o měřítka zhotovená formou vodivého plošného spoje na nevodivé fólii, která se lepí na ocelovou podložku ve tvaru desky nebo pásky. Plošný spoj má tvar pravoúhlého meandru, jehož motiv se opakuje po dvou milimetrech. Proti měřítku je ve vzdálenosti cca 0,1 mm umístěn jezdec, na kterém jsou opět formou plošného spoje vytvořeny dva oddělené průběhy (plošné vinutí) se stoupáním dva milimetry vzájemně posunuté o čtvrt rozteče, tj. o 0,5 mm. [3]



Obr. 1 - Lineární induktosyn

Je-li plošný spoj měřítka napájen střídavým proudem o frekvenci např. 5 kHz, indukují se do dvou "vinutí" jezdce malá napětí, jejichž amplituda se při vzájemném posouvání měřítka a jezdce mění v jednom vinutí podle sinusové, ve druhém podle kosinusové závislosti. Po zesílení signálů jsou tyto změny amplitud napětí vyhodnocovány a zpracovány v převodnících nebo indikacích polohy. Výhodou tohoto typu odměřování je velká rozlišitelnost, která závisí na kvalitě vyhodnocovací elektroniky. Nevýhodou je, že k odměřování vedou dva kabely. Jeden k měřítku, druhý k jezdci. Další nevýhodou je, že s délkou měřítka se zvyšuje jeho ohmický odpor a tudíž i budicí výkon. Rovněž malá vzdálenost mezi měřítkem a jezdce zvyšuje nebezpečí vniknutí třísek do mezery a tím poškození měřítka. Ochrana tenkou nemagnetickou fólií zase zvyšuje vzdálenost mezi měřítkem a jezdce,

nároky na přesnost montáže a tedy i cenu instalačních prací. Nedokonalé nalepení pásky na podložku rovněž ovlivňuje velikost vzduchové mezery a tím i velikost signálu a přesnost. Lepení na broušenou podložku výrazně zvyšuje cenu a prodražuje montáž, obdobně i krytování měřítka. [3]



Obr. 2 - Umístění měřítka a jezdce na stroji [23]

### 2.2.2 Selsyn

Připomíná asynchronní motorek s vyvedenou kotvou. Pro potřeby měření se obvykle používá dvoufázové provedení. Napájením cívek statoru se v dutině selsynu vytváří rotující magnetické pole. To v cínce rotoru indukuje střídavé napětí o stejné frekvenci, ale s fázovým posuvem, který je úměrný úhlu natočení. Jeho vyhodnocením se pak získá údaj o natočení rotoru vůči výchozí poloze (obvykle vůči jedné fázi napájecího napětí). V rámci jedné otáčky má údaj absolutní charakter, který se cyklicky opakuje s každou otáčkou. Údaj o fázi v rámci jedné otáčky (periody) je nutné rozšířit o poloze aktuální periody. Údaj je tedy cyklicko-absolutní. [6]

Po zapnutí stroje je vždy nutné uvést do souladu vyhodnocovaný údaj s údajem o skutečné poloze – zjistit polohu aktuální otáčky (periody). Obvykle se to řeší najetím do výchozí (referenční) polohy, kde se údaj aktualizuje (obvykle vynuluje) a od té doby se stává absolutním – do nejbližšího výpadku napájení. Používaly se i absolutní selsynové senzory (skříňky) s několika selsyny, jejichž rotory byly spojeny v takovém převodu, aby měl výsledný údaj o poloze absolutní charakter v celém rozsahu měřených hodnot a byl automaticky obnovitelný okamžitě po zapnutí. [6]

## 2.3 Optoelektronické snímače polohy

Nejčastěji používané snímače polohy, především v systémech CNC.

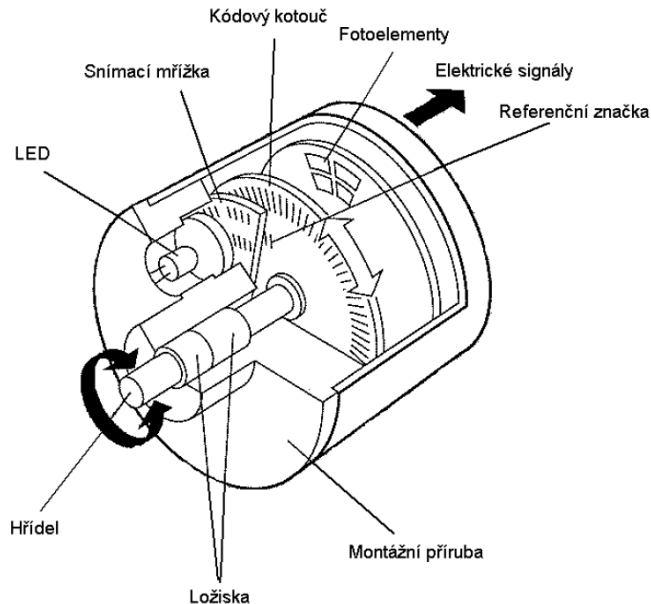
### 2.3.1 Inkrementální rotační snímače (IRC)

Optoelektronická inkrementální rotační čidla jsou určena pro převod informací o vzájemné poloze dvou mechanických celků. Pracují na principu fotoelektrického snímání čárkové mřížky. Převádějí relativní pohyb těchto celků na odpovídající elektrické impulsy, přičemž počet impulsů odpovídá velikosti změny polohy a frekvence impulsů rychlosti pohybu. [7]

Čidla IRC se skládají z:

- osvětlovací soustavy
- odměřovacího kotouče (rotor)
- nepohyblivý kotouč (stator)
- elektrických obvodů

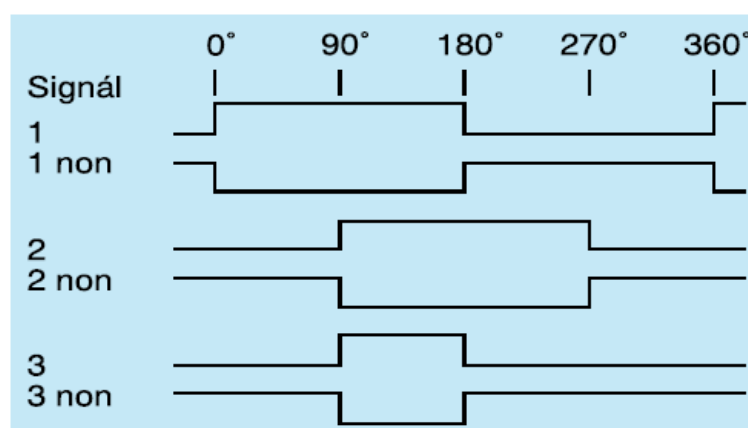
Odměřovací kotouč je skleněný kotouč s pravidelným dělením dílků. Dělení je provedeno střídáním průhledných a neprůhledných čar a určuje počet výstupních impulsů na otáčku. [7]



Obr. 3 - Inkrementální rotační snímač [5]

Kotouč statoru je skleněný s pravidelným dělením, odpovídají dělení odměřovacího kotouče, uspořádaných do 4 segmentů s postupným přesazením v jednotlivých segmentech o jednu čtvrtinu

rozteče dělení. Rastry rotoru a statoru jsou prosvětlovány rovnoběžným svazkem paprsků. Zdrojem světla bývá miniaturní žárovka (u novějších typů LED dioda), jejíž světelný tok je přerušován a dále pak čočkami soustřeďován do ohnisek snímacích fototranzistorů, které změny světelného toku převádějí na odpovídající elektrické signály. Tyto signály jsou zpracovány v elektronických obvodech čidla. Otáčením hřídele čidla se získávají 3 elektrické signály obdélníkového průběhu a jejich negace. Dva signály (a jejich negace) jsou periodicky opakované, kde na jednu otáčku ( $360^\circ$  mechanických) je vždy daný počet signálů elektrických. Jejich počet je dán základním dělením odměřovacího kotouče. Tyto signály jsou vzájemně posunuté o  $90^\circ$ , což slouží k vyhodnocení smyslu otáčení (směr pohybu). Třetí signál je tzv. nulový signál který je generován jednou za otáčku. Slouží k určení referenční nulové polohy. [7]



Obr. 4 - Průběh signálů inkrementálního rotačního snímače [8]

### 2.3.2 Absolutní rotační snímače (ARC)

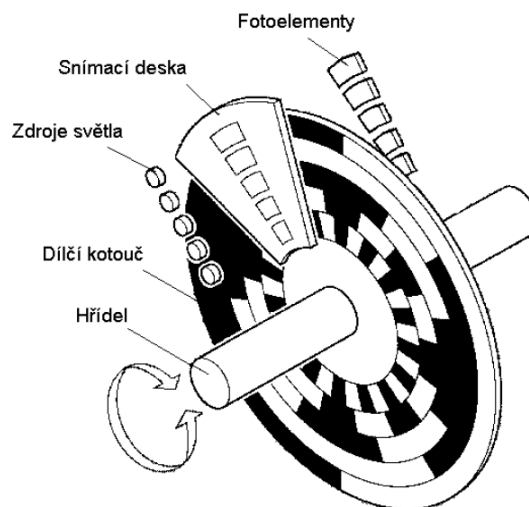
Při absolutním snímání polohy odpovídá každé pozici pevná a jednoznačná hodnota. Převádí úhel natočení na odpovídající elektrickou digitální informaci o počtu bitů, daném rozlišením pomocí fotoelektrického snímání dvou rastrů, většinou v Grayově kódu. Na rozdíl od binárního kódu při přesunu na sousední polohu nastává změna kódu jen v jednom bitu a nemůže změna nastat ve více bitech. Absolutní snímače neztrácejí informaci o poloze i tehdy, když nejsou napájeni. [10]

Jednotáčkové absolutní rotační snímače udávají absolutní polohu jedné otáčky ( $360^\circ$ ). Po jedné otáčce je měřicí rozsah ukončen a začíná znovu počáteční hodnotou. V mnoha aplikacích, jako například pojezdů je potřeba měřit více otáček. [10]

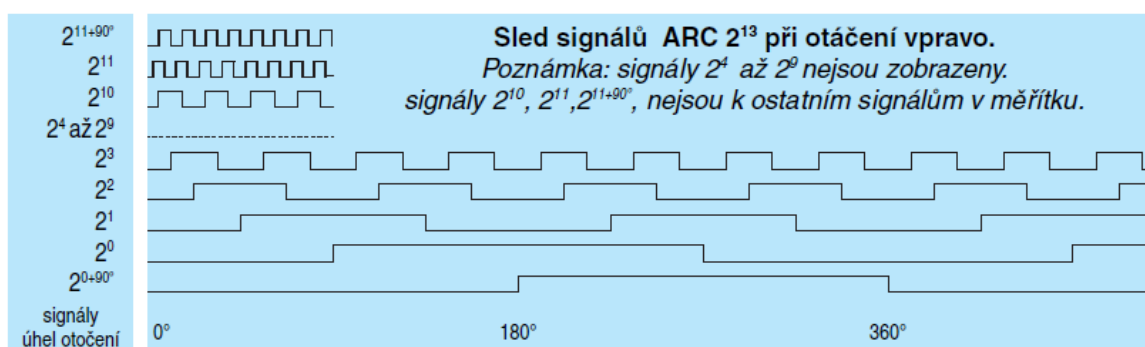
Víceotáčkové rotační snímače udávají k úhlové pozici jedné otáčky i celkový počet otáček.

Absolutní rotační snímače označí každý bod pohybu jednoznačným digitálním signálem. Díky schopnosti definovat polohu dráhy nebo úhlu snímačů každou jednoznačnou precizní hodnotou, se staly důležitým spojovacím článkem mezi mechanikou a řídicím systémem. [10]





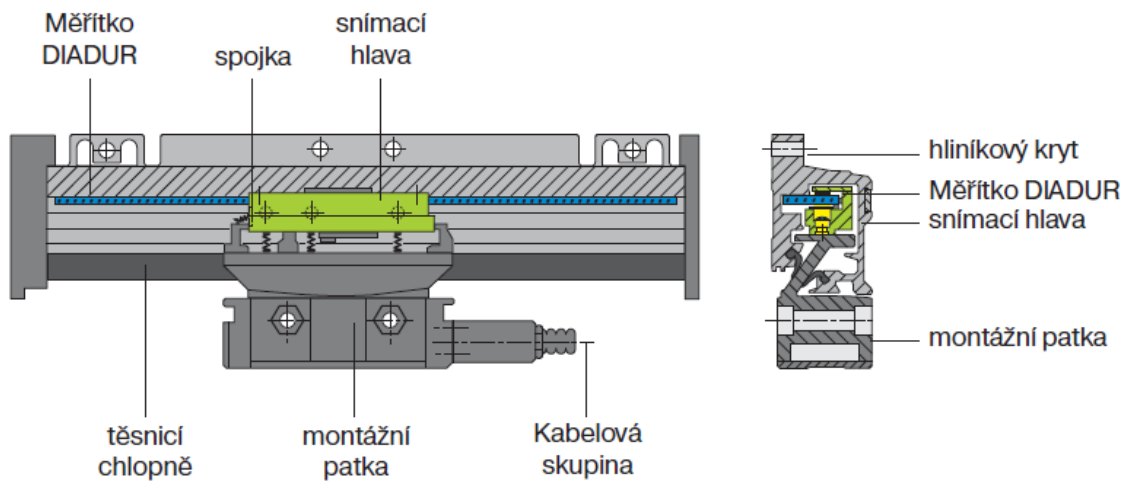
Obr. 5 - Konstrukční uspořádání absolutního snímače [5]



Obr. 6 - Průběh signálů absolutního rotačního snímače ARC [4]

### 2.3.3 Lineární optoelektronické snímače polohy

Snímací kotoučky jsou nahrazeny lineárními optickými rastry (posuvné měřítko a pevný jezdec). Převádí informace o lineárních změnách polohy na elektrické pulsy. Počet těchto pulsů odpovídá změně polohy, jejich frekvence rychlosti pohybu. Je složen ze dvou částí, které se vůči sobě lineárně pohybují. Jednou částí bývá hliníkový profil uvnitř se skleněným pravítkem, druhou částí je snímací hlava s osvětlovacím systémem s diodou LED, vyhodnocovací elektronikou a kabelem. Vnitřní části jsou zakryté pružnými chlopněmi. Transparentní systém odměřování využívá skleněné pravítko s ryskami a volitelnými referenčními značkami nebo s referenčními značkami kódovanými. Stejně jako rotační snímače jsou vyráběny v provedení s inkrementálním nebo absolutním odměřováním. [17]



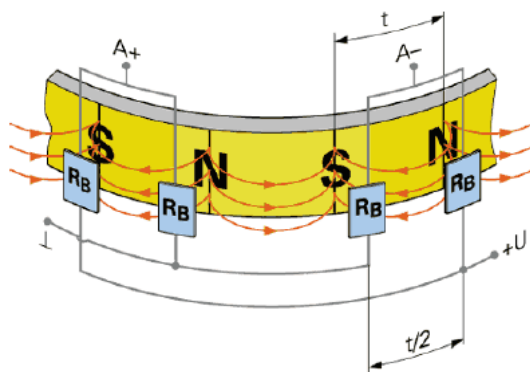
Obr. 7 - Schematické zobrazení optoelektr. lineárního snímače Heidenhain LS186C [16]

## 2.4 Magnetické snímače polohy

Magnetické snímače používají magnetickou pásku spolu s magnetickým snímačem. Tyto snímače jsou založeny buď na Hallově efektu nebo jsou magnetorezistivní.

Jádem magnetických snímačů využívajících Hallův efekt jsou dva základní díly – malý dvou pólový magnet a čip s maticí Hallových sond. Sondy v čipu snímají změny magnetického toku a vytvářejí Hallovo napětí úměrné této změně. Snímače reagují pouze na složku kolmou k povrchu čipu. Hallovo napětí z jednotlivých sond snímací matice je zpracováno dalšími obvody čipu do požadovaného formátu výstupu. Způsob výroby čipu umožňuje v jenom typu čipů integrovat analogový, inkrementální i absolutní formát výstupního signálu. [9]

U snímačů magnetorezistivních (obr. 8) je změna intenzity magnetického pole vyvolaná otáčením pasivního magnetického rotoru, který je tvořen mnohápólovým prstencovým permanentním magnetem, snímána snímačem, jehož aktivní prvek - magnetorezistor - reaguje na změny intenzity magnetického pole změnou magnetického odporu. Výstupní analogový signál snímače nesoucí informaci o úhlu natočení rotoru (tj. hřídele) je přímo ve snímači zpracován. Výstupem snímače je pak dvojice (A a B) popř. trojice (A, B a Z) signálů, zcela analogická signálům klasického optického inkrementálního snímače. Počet pulsů generovaných snímačem během jedné otáčky rotoru je určen počtem magnetických pólů rotoru. [18]



Obr. 8 - Magnetorezistivní princip snímání [18]

Magnetický pás je vytvořen ze speciálního magnetizovaného proužku dobře upevněného v pravidelných vzdálenostech k nosnému pásu. Magnetizovaný proužek může být připevněn pomocí speciálního lepidla. Je také dodáván s krycím pásem z nerezavějící oceli. [9]

Výhody:

- Jednoduché upevnění nalepením
- Stálé vůči vlhkosti, vodě a olejům
- Odolné proti prachu, třískám, olejům atd.

### 3. Číslicové indikace polohy

Číslicové indikace ve spojení s uvedenými snímači polohy jsou aplikovány na obráběcích strojích, zejména pak na soustruzích, frézách, vyvrtávačkách, bruskách apod.

Číslicová indikace je určena k vyhodnocení signálů z inkrementálního snímače polohy. Vstupem do odměřovací jednotky jsou dva signály obdélníkového průběhu s fázovým posunem  $90^\circ$ , popřípadě jejich negace a dále nulový puls snímače, který vychází 1x za otáčku snímače, je-li využit. Počet impulsů základního signálu je dán dělením použitého snímače a je nositelem informace o poloze, frekvence signálů je úměrná rychlosti pohybu odměřované části.

Elektrické funkce indikačních jednotek:

- počáteční nastavení
- nastavení referenční značky
- změna směru čítání
- hlídání vstupní frekvence snímačů
- vypínání s pamětí polohy
- přepínání mezi absolutním a přírůstkovým zobrazováním
- nulování
- předvolba hodnot
- přepínání poloměr / průměr
- zmrazení údaje na displeji
- půlení intervalu
- přepínání palce / mm
- vysílání dat na RS 232 - funkce umožňuje vyslat zobrazovaná data na displeji po sériové lince
- galvanicky oddělené vstupy a výstupy
- diagnostika odměřovací jednotky

Většinou se vyrábějí v provedení pro zástavbu do panelu, ale i v provedení stolním. V obou případech se jedná o kompaktní, krytý přístroj v kovové nebo plastové skřínce. Na předním panelu je umístěn číslicový displej s ovládacími tlačítky. Zadní panel obsahuje napájecí konektor, konektor pro připojení snímače, některé typy i se sériovým výstupem RS232 pro výstup dat do PC a dvouhodnotových vstupů a výstupů. Některé typy umožňují zpracování a zobrazování čtyř snímačů souřadnic s inkrementálními snímači. Tyto typy bývají doplněny o funkce jako např.:

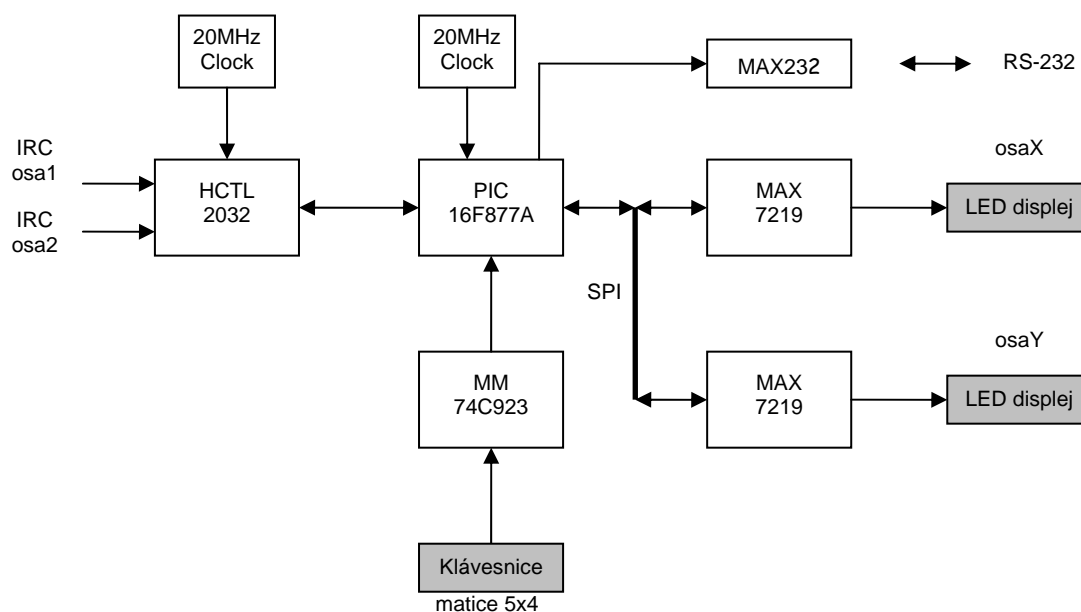
- výpočet bodů na roztečné kružnici
- výpočet parametrů kružnice
- výpočet parametrů dvou přímek
- korekce nástrojů
- zobrazení diferencí

## 4. Popis návrhu jednotky

### 4.1 Volba hardware

Blokové schéma zapojení jednotky je na obr. 9. Jádrem celé jednotky je 8-bitový procesor PIC-16F877A od výrobce Microchip Technology. Připojení snímačů je řešeno hardwarově prostřednictvím specializovaného integrovaného obvodu HCTL-2032 od výrobce Agilent Technologies, umožňujícího současně zpracovávat signály ze dvou snímačů. Pro použití tohoto obvodu jsem se rozhodl na základě jeho celkové komplexnosti, rychlosti a přesnosti zpracovávání vstupních signálů. Činnost procesoru je tak vyhrazena pro činnosti jako jsou zpracování načtené hodnoty, převedení údajů na zvolenou jednotku, zobrazení údajů a odeslání údajů na seriové rozhraní RS-232.

Zobrazení hodnoty je řešeno obvodem MAX7219, které komunikují s procesorem přes sběrnici SPI. Naměřené hodnoty polohy jsou zobrazeny na osmimístných 7-segmentových LED displejích. K procesoru je dále připojen obvod MM74C423N, který umožňuje připojit matici 20-ti tlačítek. Tato tlačítka jsou využita částečně jako číselná klávesnice, umožňující rychlé a pohodlné zadávání požadovaného údaje a pro další pomocné funkce jednotky.

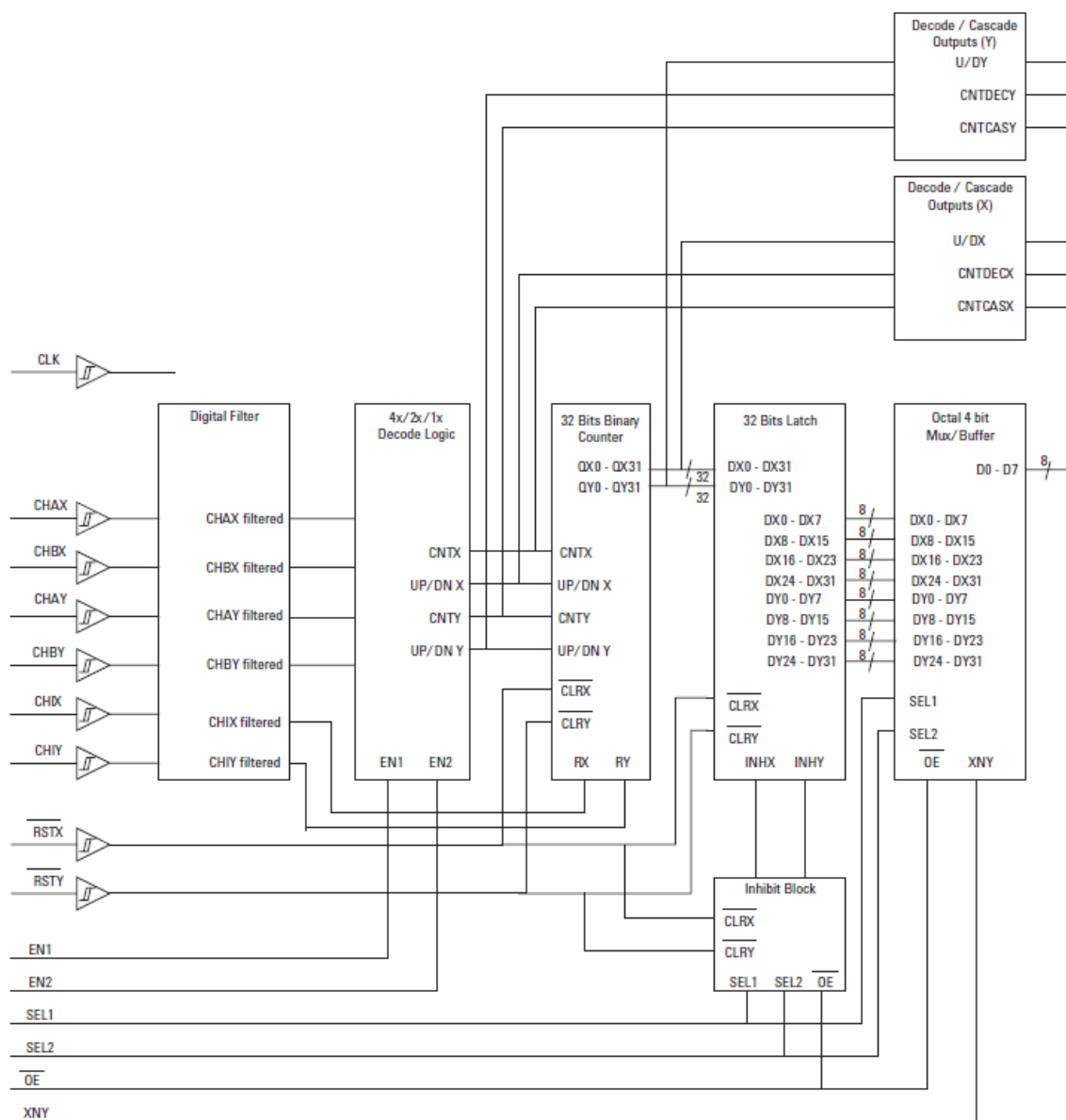


Obr. 9 - Blokové schéma jednotky

#### 4.1.1 HCTL-2032

Tento obvod (obr. 10) obsahuje pro každý snímač filtr proti rušivým signálům, dekodér kvadraturního signálu a 32-bitový binární obousměrný čítač. Může být naprogramován v režimu

rozlišení 1x/2x/4x. K procesoru je připojen přes 8-bitové sběrníkové rozhraní a několika řídicími signály k nastavení obvodu a řízení načítání dat. Činnost obvodu je synchronizována vnějším zdrojem hodinového signálu, jehož frekvence může být až 33MHz.



Obr. 10 - Blokové schéma obvodu HCTL-2032

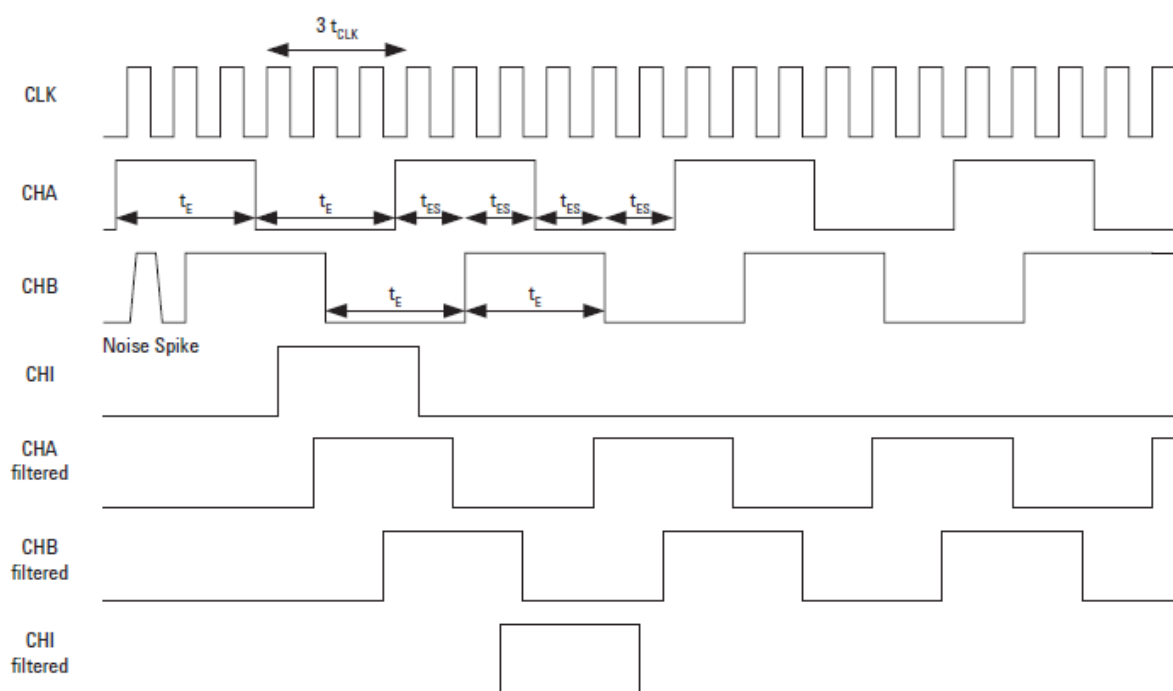
Vstupní filtr používá dva způsoby filtrace rušivých signálů, Schmittův klopný obvod a číslicový filtr. Schmittův klopný obvod signál nejprve upraví a pak je signál přiveden na vstup čtyřbitového posuvného registru reagujícího na náběžnou hranu taktovacího pulsu. Správná logická úroveň je ta, která je stejná během tří následujících taktovacích impulsů. Průchod signálu Schmittovým klopným obvodem odstraňuje chybu vzniklou malou strmostí výstupu fotosenzoru, která vzniká při velmi malých otáčkách a při změně směru, může být komparátorem vícenásobně

vyhodnocena jako puls. Podobně se může projevit vliv vibrací, působících na hřídel inkrementálního senzoru tím, že jsou generovány nadbytečné pulsy. [1]

Rychlost zpracování signálů snímačů je závislá na frekvenci zdroje hodinového signálu a maximální zpracovatelná frekvence snímače je dána především omezením vstupního filtru a také kvadrurního dekodéru. Obr. 11 zobrazuje časový průběh signálů z inkrementálního snímače filtrem. Protože vstup musí být stabilní pro dobu tří náběžných hran, šířka pulsu dekodéru  $t_E$  musí být větší než tři periody  $3t_{CLK}$ . Filtrovaný výstupní signál se může změnit pouze poté, co má vstupní úroveň stejnou hodnotu po dobu tří následujících náběžných hran. Krátké rušivé špičky mezi náběžnými hranami jsou tak ignorovány a pulsy kratší než dva takty jsou potlačeny. [11] Při použití maximálního možného taktu 33MHz je tedy maximální zpracovatelná frekvence

$$\frac{33 \cdot 10^6}{3} \cdot 2 = 22 \text{ MHz}$$

Při použití mnou zvoleného 20MHz krystalu je maximální zpracovatelná frekvence cca 13MHz, což při maximální frekvenci snímačů (do 300 kHz) zajišťuje spolehlivé zpracování vstupních signálů.








Obr. 11 - Časový průběh signálů při průchodu filtrem [11]

Kvadrurní dekodér na základě předchozího a současného binárního stavu dvou signálů dekóduje filtrovaný signál a podle volby rozlišení v režimu 1x, 2x nebo 4x. Rozlišení je dáno tím, jak budeme detekovat jednotlivé signály. Při rozlišení 1x je detekována pouze náběžná hrana jednoho

signálu, u režimu 2x jsou to náběžná i sestupná hrana jednoho signálu a u režimu 4x jsou to náběžné i sestupné hrany obou signálů. Výstupem z dekodéru je signál puls a směr. Signál CHA předbíhající signál CHB vede k čítání nahoru, opačně k čítání dolů.

Další částí obvodu je 32-bit obousměrný čítač, který načítá s náběžnou hranou taktu. Všechny 32 bitů je dále přivedeno do LATCH registru, který náběžnou hranou taktu načítá data z čítače kromě situace, kdy jsou vstupy zablokovány blokovacím obvodem při operaci čtení.

Sběrníkové rozhraní se skládá z multiplexeru (32 na 8), který umožňuje přístup k jednotlivým bajtům LATCH registru. Výběr bajtu je dán stavy signálů SEL1, SEL2 a OE (viz tab. 1).

Step	SEL1	SEL2	OE	CLK	Inhibit Signal	Action
1	L	H	L		1	Set inhibit; Read MSB
2	H	H	L		1	Read 2 <sup>nd</sup> Byte
3	L	L	L		1	Read 3 <sup>rd</sup> Byte
4	H	L	L		1	Read LSB
5	X	X	H		0	Completes inhibit logic reset

Tab. 1 - Sekvence čtení jednotlivých bajtů [11]

Připojení k procesoru je realizováno 8-bitovou sběrnicí pro přenášené bajty a následujícími 8-mi řídicími signály:

RSTNX                      těmito signály dojde ke smazání obsahu čítače a LATCH registru v dané ose a k resetu blokovacího obvodu.

OEN  
(output enable)            nastavením OEN do log.0 a v závislosti na stavech SEL1 a SEL2 dojde k naplnění výstupního 8-bit. registru zvoleným bajtem.

SEL1                        tyto vstupy kontrolují, která data z LATCH registru budou načtena do  
SEL2                        výstupní vyrovnávací paměti

SEL1	SEL2	MSB	2nd	3rd	LSB
0	1	D4			
1	1		D3		
0	0			D2	
1	0				D1

Tab. 2 - Nastavení signálů SEL1,2 pro načítání bajtů [11]



---

EN1                                      tyto vstupy určují nastavené rozlišení 1x,2x nebo 4x.  
 EN2

EN1	EN2	4x	2x	1x
0	0	neplatný režim		
1	0	On		
0	1		On	
1	1			On

Tab. 3 - Nastavení signálů EN1,2 pro nastavení rozlišení [11]

---

X/Y                                      výběr načítání dat pro osu X nebo Y

Další signály jsou výstupní. CNTDEC<sub>X</sub>, CNTDEC<sub>Y</sub> jsou výstupy dekodéru pro jednotlivé osy, CNTCAS<sub>X</sub>, CNTCAS<sub>Y</sub> slouží k připojení dalších čítačů a také pro mikrokontrolér jako informace o přetečení, nebo podtečení registrů dekodéru. Signály U/D<sub>X</sub> a U/D<sub>Y</sub> určují podle log. stavu načítání nahoru nebo dolů. Tyto signály pro funkci jednotky nevyužívám.

Obvod také umožňuje využít nulového signálu ze snímače, přivedením na vstupy CHI<sub>X</sub>, CHI<sub>Y</sub>. Použití těchto signálů je však značně omezené. Jsou zapojeny tak, že by při provedení každé otáčky rotačního snímače a tím příchodu nulového pulsu docházelo k resetování čítače.

Komunikace s procesorem je přehledně ukázána v katalogovém listu a probíhá v následujících krocích:

- před hlavní smyčkou programu nastavit signály RSTX a RSTY do log.1 a nastavit rozlišení signály EN1 a EN2.
- ve funkci pro načtení hodnoty nejdříve zvolit osu, jejíž hodnotu chceme načítat signálem X/Y.
- signál OE do log.0 a ve 4 krocích postupně načíst jednotlivé bajty do osmibitových proměnných, jejichž výběr je dán signály SEL1 a SEL2.
- signál OE do log.1 a následné spojení jednotlivých osmibitových proměnných do 32 bitové pomoci bitového posunu.

Při načítání druhé osy se postupuje stejně s rozdílem nastavení signálu X/Y.

Načtení jednotlivých bajtů:

```
OE = 0;           // disable OE
Delay_ms(25);
SEL1 = 0;         // vyber MSB
SEL2 = 1;
```

```

OE = 0;           // enable OE
MSB = PORTD;      // uloz MSB
SEL1 = 1;         // vyber 2 byte
SEL2 = 1;
bajt_3 = PORTD;
SEL1 = 0;         // vyber 3 byte
SEL2 = 0;
bajt_2 = PORTD;
SEL1 = 1;         // vyber LSB
SEL2 = 0;
LSB = PORTD;
OE = 1;           // disable OE
Delay_ms(25);

```

a spojení do 32-bit proměnné typu long:

```

g_pulsy = MSB;
g_pulsy <<= 8;
g_pulsy += bajt_3;
g_pulsy <<= 8;
g_pulsy += bajt_2;
g_pulsy <<= 8;
g_pulsy += LSB;

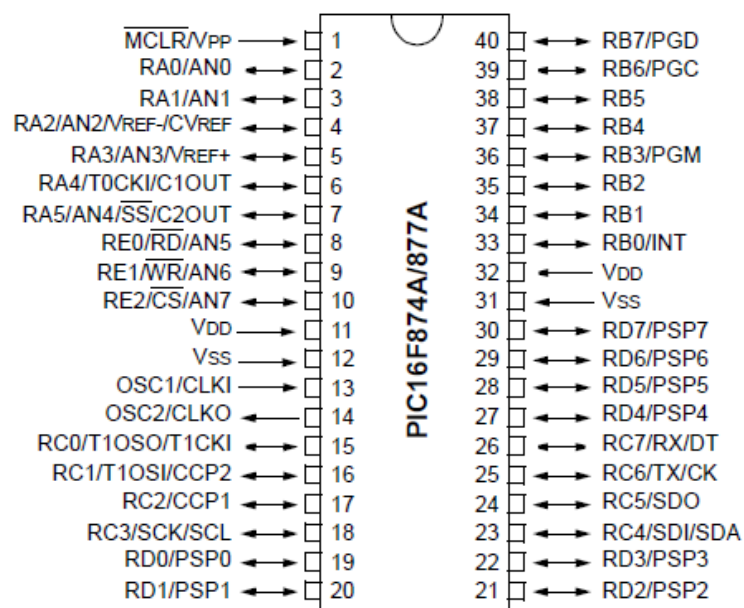
```

#### 4.1.2 PIC 16F877A

Jádrem celé jednotky je 8-mi bitový procesor PIC16F877A od výrobce Microchip. Pro tuto volbu jsem se rozhodl na základě požadovaných vlastností procesoru. Jsou to především dostatečný výkon a počet portů, možnost externího přerušování, uložení do trvalé paměti EEPROM, integrované moduly jako jsou USART, SPI, a také možnost sériového programování.

Základní vlastnosti mikroprocesoru:

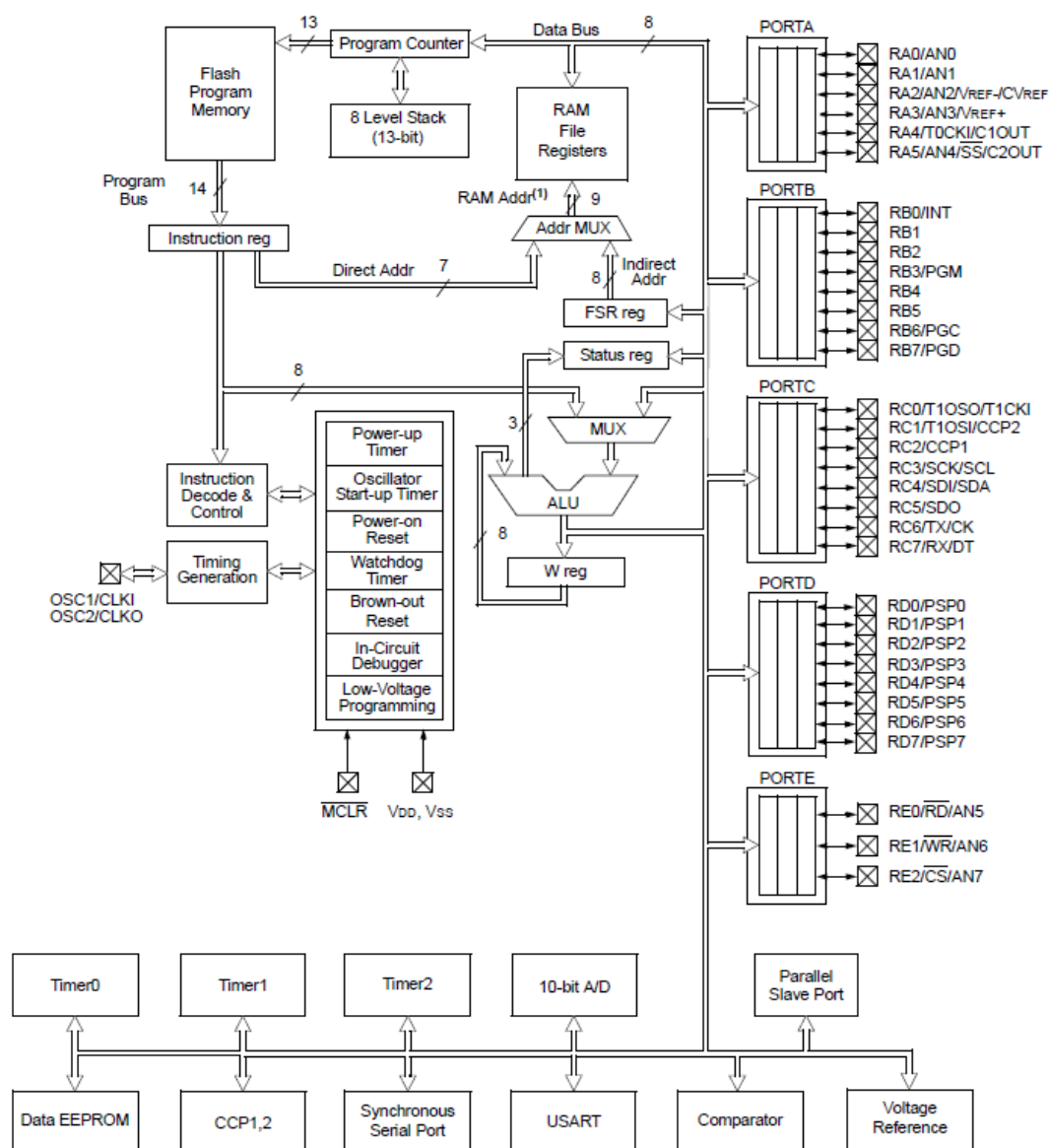
- 5 portů umožňujících zapojit až 33 vstupů/výstupů
- pracovní frekvence až 20MHz
- 368 bajtů datové paměti
- 8k programových slov FLASH paměti
- 256 bajtů EEPROM
- 10-bit A/D převodník
- moduly pro sériovou a paralelní komunikaci (USART, MSSP, PSS, SPI)
- 3x časovač, 2x PWD modul
- 2x 8-mi bitový a jeden 16-ti bitový čítač
- ICSP (In-Circuit Serial Programming)



Obr. 12 - Rozložení konektorů mikrokontroléru PIC16F877A [12]

V zapojení je použit 20MHz krystal, využívající maximální možnou rychlost procesoru. Krystal je zapojen přes kondenzátory 22pF. Pro zajištění spolehlivého náběhu procesoru po ustálení napájecího napětí, je k pinu MCLR připojen RC člen s kapacitou 10uF. Do obvodu procesoru jsem také přidal IDC konektor, který odpojuje procesor od obvodu na pinech, sloužící k programování jednotky (PGD, PGC, MCLR) pro snadné nahrávání programu a pro jeho odladování, bez nutnosti vyjmutí procesoru. V běžném stavu jsou jednotlivé piny konektoru propojeny jumpery.

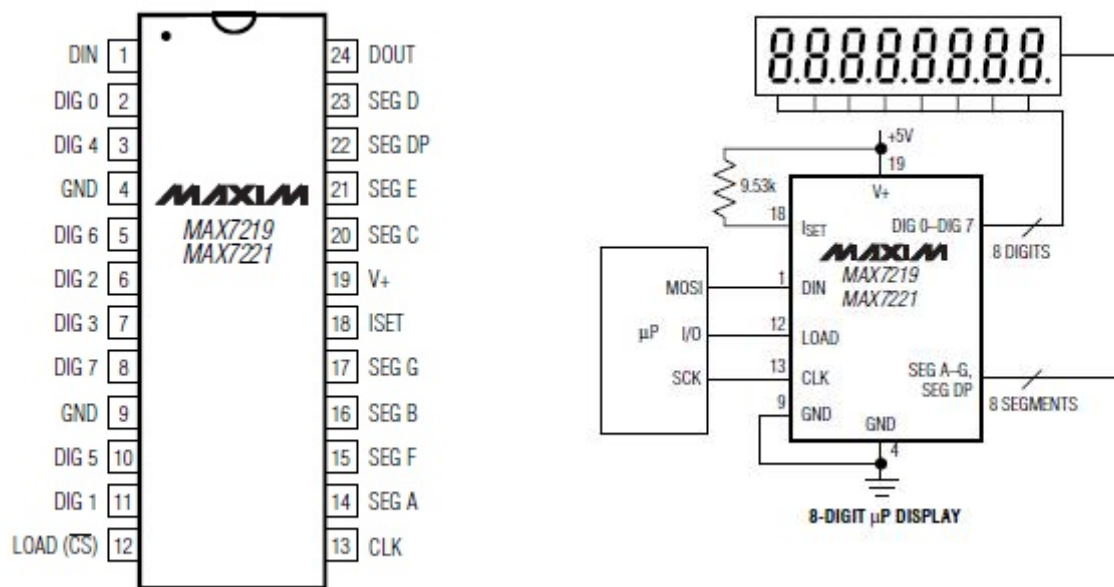
Jednotlivé porty jsou kromě dvou pinů plně využity, PORTA je připojen k obvodu kodéru tlačítek MM74C923N. POTRTB a D je využit pro komunikaci s dekodérem HCTL-2032, PORTB pro datový přenos jednotlivých bajtů a PORTD pro řídicí signály. PORTC je používán pro řízení obou obvodů MAX7219 pro buzení displeje a také pro obvod MAX232 pro sériovou komunikaci. K PORTuE jsou zapojeny LED diody signalizující funkce jednotky.



Obr. 13 - Blokové schéma mikrokontroléru PIC16F877A [12]

### 4.1.3 MAX 7219

MAX7219 je kompaktní budič LED displeje, který umožňuje s použitím pouze jednoho externího rezistoru připojit až 8-místný 7-segmentový displej se společnou katodou do maximálního proudu 40mA na segment, nebo 64 jednotlivých LED diod, nebo jakoukoliv kombinaci jednotlivých diod a segmentů zapojených v matici 8x8. Komunikace s procesorem probíhá pouze třemi vodiči (CLK, LOAD, DIN) přes sběrnici SPI. Data jsou načítána sériově po 16 bitech s náběžnou hranou CLK do posuvného registru. Bity D0 – D7 obsahují data a D8 – D11 obsahují adresu registru. Pro načtení dat musí být signál DIN v log.0. [13]



Obr. 14 - MAX7219 [13]

MAX7219 umožňuje měnit jas displeje externím rezistorem  $R_{SET}$  zapojeným mezi  $V+$  a  $I_{SET}$ , ale také softwarově, vnitřním pulsně šířkovým modulátorem, který je řízen nastavením registru. Jas lze měnit v 16-ti krocích. [13] Jednotlivé displeje jsou z řídicí desky připojeny kabelem. Displej je umístěn na přední desce jednotky spolu s ovládacími tlačítky.

Pro komunikaci s procesorem jsem využil knihovny pro komunikaci po sběrnici SPI v prostředí překladače MikroC. Před hlavní smyčkou programu je nutné provést inicializaci SPI modulu a také nastavení registrů obou obvodů MAX7219, jako je deaktivace BCD dekodování, možnost nastavení jasu, zvolit počet zobrazovaných segmentů, deaktivace provádění testu při zapnutí, nebo úsporného režimu. Jelikož jsem potřeboval zobrazit i znaky, které BCD kódem zobrazit nelze, tuto funkci jsem deaktivoval a před odesláním znaku na displej je tento znak převeden do příslušného kódu.

Výběr požadovaného obvodu se nastaví signálem DIN do log.0, a funkcí SPI\_Write se ve smyčce *for* provede seriový přenos dat. Po dokončení přenosu se signál DIN nastaví zpět do log.1. Zobrazování desetinné tečky se provádí nastavením bitu D7 do log.1.

Odeslání znaků na MAX7219:

```
for (i=1; i<=8; i++)
{
    PORTC.CHIP_SELECT_X = 0;    // Select MAX7219
    SPI1_write(i);              // digit place
    if(zobrazeni_textu == true)  // pokud se zobrazuje text tak bez DP
    {
        SPI1_write(prevedeny_string[i-1]);
    }
    else                        // jinak zobraz DP
}
```

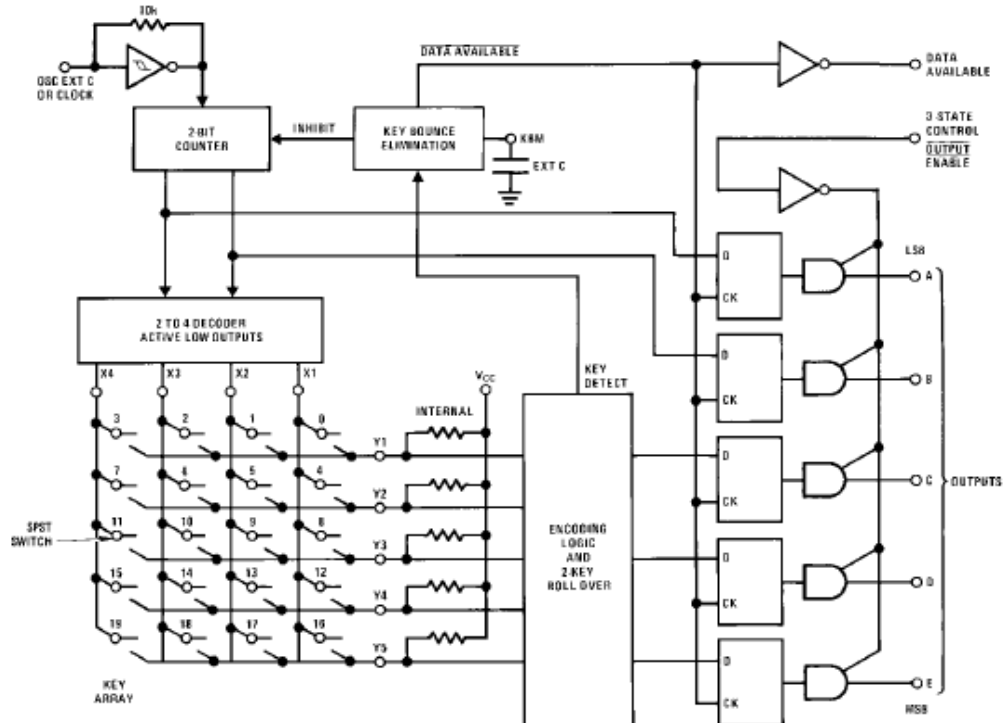
```

{
  if(g_nastaveni_inch == 1)          // pro palce v pozici 4
  {
    if(i==4)
      SPI1_write(0x80 + (prevedeny_string[i-1]));
    else
      SPI1_write(prevedeny_string[i-1]);
  }
  else                                // pro mm v pozici 5
  {
    if(i==5)
      SPI1_write(0x80 + (prevedeny_string[i-1]));
    else
      SPI1_write(prevedeny_string[i-1]);
  }
}
PORTC.CHIP_SELECT_X = 1;           // Deselect MAX7219

```

#### 4.1.4 MM74C923

Obvod MM74C923 je kódér pro 20 tlačítek zapojených do matice 5x4 (5 řad a 4 sloupce). Obsahuje veškerou logiku nutnou pro kódování pole tlačítek a také obvody proti záskmitům s použitím externího kondenzátoru. Vnitřní registr uchovává hodnotu posledně sepnutého tlačítka i poté, co bylo tlačítko rozepnuto. [14]

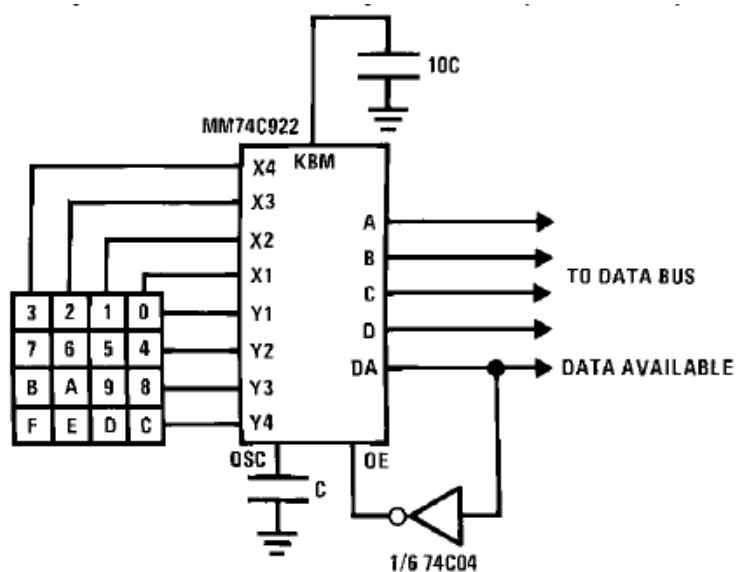


Obr. 15 - Blokový diagram obvodu MM74C923 [14]

Externími kondenzátory lze nastavovat frekvenci skenování tlačítek ( $C_{OSE}$ ) a dobu pro odstranění zákmitu tlačítek ( $C_{MSK}$ ). Tak může být obvod nastaven pro různé typy klávesnic. Pokud není žádné tlačítko sepnuté, řádky jsou udržovány pull-up rezistory v log.0. Skenování sloupců je řešeno pomocí Schmittova klopného obvodu jako oscilátor. Jakmile je stisknuto nějaké tlačítko, např. 0, Y1 zůstává v log.1 do okamžiku skenování X1, kdy X1 jde do log.0 a Y1 také do log.0. To zablokuje vnitřní čítač a udržuje X1 v log.0. Y1 spouští protizákmitový obvod a blokuje ostatní Y vstupy. Po dočasování, určeném velikostí kondenzátoru  $C_{MSK}$ , je hodnota tlačítka zapsána do LATCH registru a signál DA (Data Available) jde do log.1. K obvodu je ještě zapojen obvod 74C04, který negováním výstupu DA na vstup OE, zpřístupní data na sběrnici. [14]

Hodnoty obou kondenzátorů jsem zvolil podle grafů uvedených v katalogovém listě, pro obvod proti zákmitu tlačítka  $C_{MASK}$  10uF, což odpovídá cca času 100ms a pro frekvenci skenování 0,1uF tj. přibližně 1kHz.

Výstupy z tohoto obvodu jsou přivedeny do procesoru na PORTA kromě výstupu DA, který je přiveden na PORTB bit 0 jako vstup externího přerušení. Každým sepnutím tlačítka je vyvolána rutina přerušení a podle kódu tlačítka na PORTuA je přes příkaz *switch* nastavena proměnná se znakem stisknutého tlačítka.

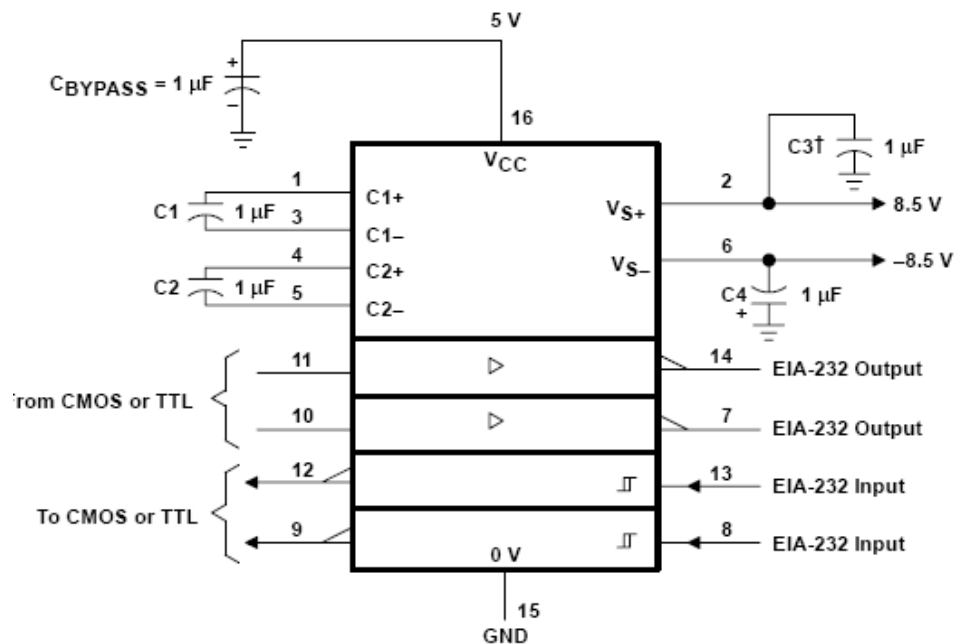


Obr. 16 - Zapojení obvodu MM74C922 (923) [14]

Klávesnice je vytvořena ze samostatných tlačítek zapojených do matice a je s hlavní deskou propojena kabelem. Tlačítka jsou podle funkce rozmístěny na přední desce jednotky spolu s displejem.

### 4.1.5 MAX232

V procesoru je integrován modul USART, který je v jednotce použit na posílání údaje o poloze obou os na sériovou linku RS-232. Pro převod TTL úrovně na rozhraní RS232 jsem použil obvod MAX232 od firmy Maxim. Obsahuje dva převodníky. Výhodou tohoto obvodu je, že si potřebná napětí vytvoří z napájecího +5V napětí, prostřednictvím nábojové pumpy, tvořené externími kondenzátory. Jako konektor je použit 9-ti pinový konektor Cannon, umístěný na zadním panelu.

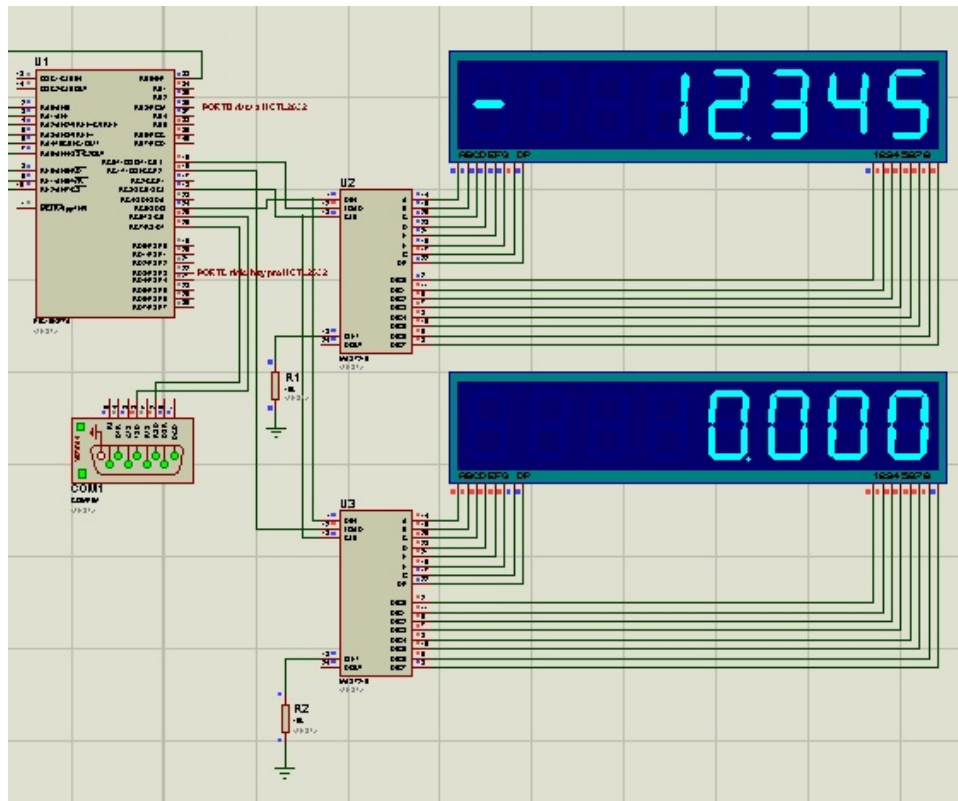


Obr. 17 – Zapojení obvodu MAX232 [15]

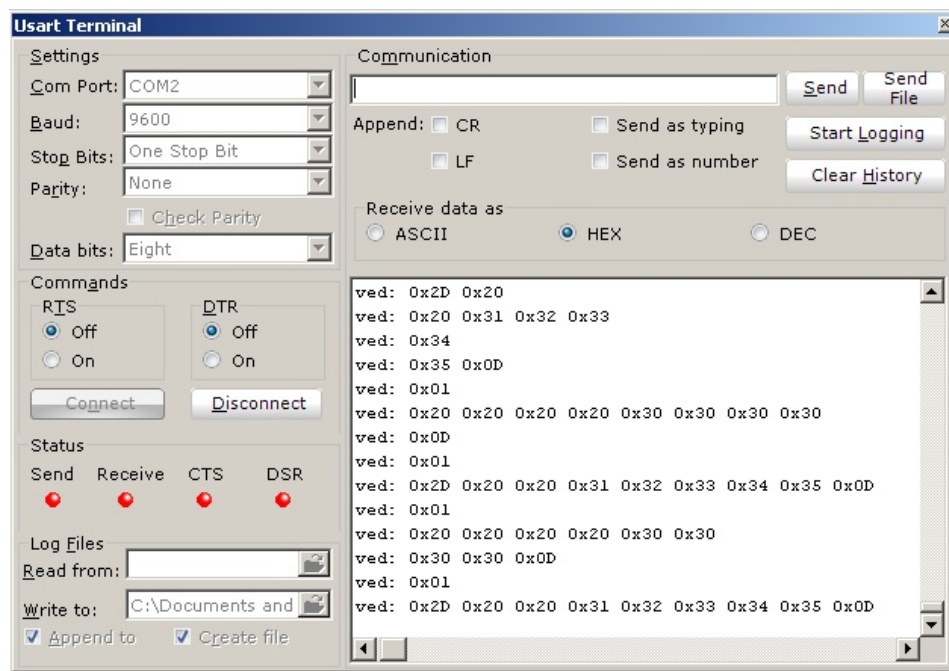
Pro komunikaci s tímto modulem jsem využil knihovny UART. Pokud řetězec obsahuje znaky 0, jsou zaměněny za 0x20 a do 10-ti znakového řetězce *txt\_pro\_uart* je jako první znak vložen start bit 0x01 a znak 0x00 (pro funkci *strcat*). Následně jsou tyto řetězce spojeny a spojený řetězec je doplněn o stop bit 0x0D (CR – carriage return) a zakončen 0.

```
for(j=0;j<=3;j++)
{
    if(txt[j] == 0)
        txt[j] = 0x20;
}
txt_pro_uart[0] = 0x01;
txt_pro_uart[1] = 0x00;
strcat(txt_pro_uart, txt);
i = strlen(txt_pro_uart);
txt_pro_uart[i] = 0x0d;
txt_pro_uart[++i] = 0;
UART1_Write_Text(txt_pro_uart);
```





Obr. 18 – Simulace v programu Proteus



Obr. 19 – USART Terminál překladače MikroC

Komunikace byla odzkoušena v simulačním programu Proteus (obr. 18). Pro ověření správného odesílání byly v programu hodnoty údajů obou os nastavovány na konstantní hodnotu. Přes virtuální sériový port jsem v terminálu překladače MikroC sledoval příchozí znaky (obr. 19).

#### 4.1.6 Napájení jednotky

Napájení jednotky jsem realizoval spínaným síťovým adaptérem s výstupním napětím  $5V / 1,25A$ . Obvody elektroniky jednotky, snímačů a napájení žárovek snímačů jsou samostatně jištěny pojistkami, umístěných na zadním panelu jednotky.

#### 4.1.7 Snímače polohy

Jako snímače jsem použil optoelektronické inkrementální rotační snímače IRC 120/1250 (obr. 20) a také pro odzkoušení IRC 120/2500. Jsou to snímače s 1250 a 2500 dílky na otáčku a jedním nulovým pulsem za otáčku. Tyto snímače se již nevyrábějí, ale v praxi jsou stále velmi často používané. Jako jejich přímá náhrada se používají typy SRN12x od výrobce ESSA. V době testování indikace nebyl žádný z těchto novějších typů snímačů k dispozici.



Obr. 20 – Optoelektronický snímač IRC120/1250

K elektrickému propojení se spolupracujícími obvody jsou snímače opatřeny 11 pólovým konektorem, který je u IRC120 umístěn na zadním čele, u IRC125 na boku snímače. [7]

Zapojení konektoru je uvedeno v následující tabulce č.4. Propojení je u všech tří signálů provedeno samostatným stíněným kabelem, kromě jejich negovaných signálů, které nevyužívám. Stínění je na každém konci spojeno s potenciálem 0V. Délka kabelu by měla být maximálně 20 m.

Označení vývodu	Funkce	Značení
A	+5V	+5V pro napájení elektronických obvodů snímače
E	0V	0V pro napájení elektronických obvodů snímače
V	1	výstup 1 - přímý
B	$\bar{1}$	výstup 1 - negovaný
G	2	výstup 2 - přímý
D	$\bar{2}$	výstup 2 - negovaný
K	3	nulový puls
I	$\bar{3}$	nulový puls- negovaný
Ž	0V	0V - Napájení žárovky
Z	+5V	+5V - Napájení žárovky
L		Vnější společné stínění

Tab. 4 - Zapojení konektoru snímače [7]

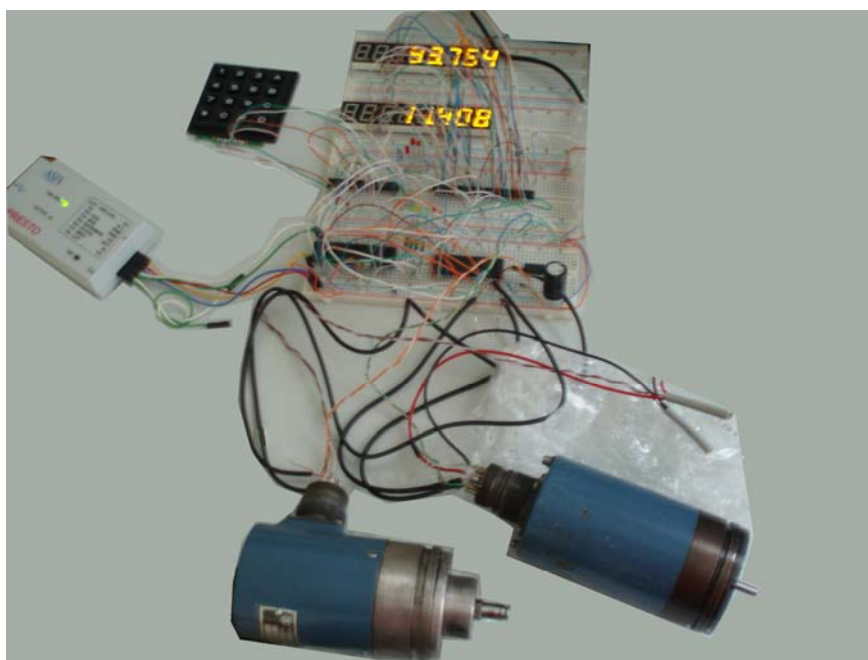
<b>Napájecí napětí žárovky</b>	5V +/-5% I = max.130 mA
<b>Napájecí napětí pracovních obvodů</b>	5V +/-5% I = max.70 mA
<b>Maximální rychlost otáčení</b>	6000 ot/min
<b>Max. přípustné zrychlení</b>	20000 rad/s <sup>2</sup>
<b>Funkční otáčky</b>	max. 100 ot/s
<b>Pracovní teplota</b>	0 až +60°C
<b>Výstupní frekvence</b>	max. 150 kHz
<b>Pracovní teplota</b>	0 až +60°C
<b>Stupeň krytí</b>	IP54

Tab. 5 - Parametry snímače IRC120/1250 [7]

## 5. Popis konstrukce

Celkové zapojení jednotky jsem nejprve odzkoušel na nepájivém kontaktním poli (obr. 21), abych si ověřil správnost výběru hardware a mohl zvolit vhodný způsob realizace jednotky, jako je návrh desky plošných spojů, volba klávesnice, displeje, konektorů, vhodné krabičky apod. Jako snímače jsem použil fotoelektrické IRC 120 / 1250. Tento snímač má 1250 dílků na otáčku.

Program jednotky jsem napsal ve vývojovém prostředí překladače MikroC a pro nakreslení schématu, včetně návrhu DPS, byl použit program Eagle. Pro nahrávání programu do procesoru jsem použil programátor PRESTO od firmy Asix. Tento programátor umožňuje sériové programování bez nutnosti vyjmutí procesoru.



Obr. 21 - Odzkoušení zapojení na nepájivém poli

### 5.1 MikroC

MikroC je vývojové prostředí a překladač jazyka C. Je navrženo na vytváření programů pro procesory PIC. Poskytuje mnoho knihoven urychlujících vývoj programu, obsáhlou dokumentaci a na stránkách firmy Mikroelektronika i mnoho návodů. Umožňuje přehledné odladňování programu pomocí breakpointů, sledování proměnných, registrů, RAM, EEPROM, obsahuje Terminál pro sledování komunikace, 7-segmentový editor displeje a další užitečné nástroje. Odladňování lze provádět softwarově, nebo připojením vhodného programátoru hardwarově.

Program jednotky je obsáhlejší, než jsem na začátku předpokládal. Celý kód má cca 1400 řádků a velikost hex souboru je 36kB. Program je přiložen v elektronické formě na CD.

### 5.1.1 Popis programu jednotky

Program je rozdělen do několika funkcí. V úvodu programu jsou kromě definic maker, globálních proměnných a funkcí provedena nastavení parametrů obvodů MAX7219. V hlavní funkci *main* jsou inicializovány obvody MAX7219, HCTL2032, modul SPI, nastavení portů mikrokontroléru jako vstupní nebo výstupní, deaktivace analogového portu A a také povolení externího přerušení portu B bit.0. Před nekonečnou smyčkou je podmínka pro vstup do nastavení jednotky při stisknutí tlačítka ENT, které umožňuje změnit nastavení jako jsou inkrement (přírůstek) odměřovacího snímače a smysl odměřování obou os. Tento způsob nastavení základních parametrů, kdy je nutné při zapnutí jednotky držet stisknuté konkrétní tlačítko, znemožňuje nechtěnou, nebo neoprávněnou změnu důležitých nastavení.

V nekonečné smyčce jsou načítány hodnoty z čítačů obou os, podmínky pro změnu hodnoty polohy pro každou osu v závislosti na nastaveném režimu (režim průměr, dělení, přepínání mm/palce) a také volání funkcí pro zobrazení hodnoty na displeji, nulování čítače, inkrementální režim odměřování, při volbě dělení a volání funkce pro odeslání údaje na sériovou linku.

Stisknutím tlačítka na klávesnici je spuštěna rutina přerušení, která slouží pouze pro nastavení globální proměnné. Na základě této změny, je v nekonečné smyčce podle stisknutého tlačítka aktivována zvolená funkce.

Před zobrazením hodnoty polohy načtené z čítače obvodu HCTL2032, je nutné toto číslo převést na řetězec znaků, následně zkrátit na 7 znaků a převést na kód pro displej. Osmá pozice displeje je vyhrazena na zobrazení záporného znaménka.

Popis funkce zajišťující komunikaci mezi procesorem a obvody HCTL2032, MAX232 a MAX7219 jsem již uvedl v části popisující jednotlivé obvody.

Hodnotu pulsů, která je načtena z čítače obvodu HCTL2032, je nutné převést na mm, případně palce, podle nastavené jednotky. Vzdálenost vztahující se na 1 puls závisí na rozlišení snímače a na nastavení dekodéru kvadrurního signálu. Vzhledem k tomu, že je výhodné mít dekodér nastavený na nejvyšší možné rozlišení v režimu 4x, kdy načítá jak náběžnou, tak sestupnou hranu obou signálů, je počet pulsů na jednu otáčku snímače z tohoto obvodu 4x vyšší než je počet pulsů snímače. Inkrement v případě použití snímače s 1250 imp./ot. a stoupání šroubu 10mm tedy nebude  $10 / 1250 = 8\mu\text{m}$ , ale  $10 / 5000 = 2\mu\text{m}$ . Touto konstantou je pak násobena hodnota načtených impulsů. Tato hodnota je trvale uložena v paměti EEPROM, stejně tak jako nastavení smyslu odměřování každé osy. U palců je tato konstanta vynásobena hodnotou 1/25,4.

Při volbě režimu inkrementálního načítání polohy tlačítkem INC je volána funkce, která umožňuje zadávání požadované vzdálenosti ve zvolené ose a dojetí osou na nulu. Funkce je tvořena smyčkou podmíněnou aktivovaným režimem INC. V ní je smyčka podmíněná rozepnutými tlačítky X, Z, před kterou je uložena hodnota čítačů obou os. Pokud tedy není sepnuté ani jedno z těchto tlačítek, je na displeji zobrazován rozdíl mezi zadanou hodnotou a rozdílem aktuální hodnoty a staré hodnoty u obou os. Jelikož je zadaná hodnota v tomto okamžiku nulová, zobrazuje tento režim vzdálenost vztahovou na pozici, kde byl aktivován tento režim. Při stisku tlačítka X nebo Z je volána funkce, ve které je do proměnné uložena zadaná hodnota, což je její návratová hodnota. Zadávání hodnoty je tvořeno několika smyčkami, které jsou podmíněny stiskem příslušného tlačítka, nebo splněním zadaného počtu znaků.

Při režimu DIA (průměr), je hodnota údaje osy X vynásobena dvěma. Tato funkce je použita pouze u osy X (příčné). Při deaktivaci režimu je opět zobrazena správná hodnota.

U režimu 1/2 (dělení) je volána funkce, kde výběrem osy (tlač. X, Y) dojde k vydělení zvolené souřadnice dvěma. Tato funkce se používá při hledání středu obrobku.

Maximální odměřovaná vzdálenost není limitovaná čítačem, ale velikostí displeje, který je schopen zobrazit maximální hodnotu 9999,999 mm (resp. 393,7007 palců). Překročení této vzdálenosti je indikováno chybovým hlášením E00.

Program je také ve formě vývojového diagramu obsažen v příloze.

## 5.2 Eagle

Eagle je program německé firmy CadSoft, určený pro tvorbu schémat a návrh plošných spojů. Obsahuje rozsáhlé knihovny součástek, které se vkládají do schématu. Pokud nepožadujeme schéma, lze využít pouze návrh DPS s tím, že vkládáme pouzdra jednotlivých součástek.

Pro vytvoření schématu a návrhu desky jsem kromě obvodu HCTL 2032 použil součástky z knihoven. Pro tento obvod jsem vytvořil součástku vlastní.

Při návrhu desky je možné použít autorouter, ale má zkušenost s tímto nástrojem nebyla dobrá. I přes dostatečné nastavení nebyly výsledky uspokojující a tak jsem celé zapojení navrhoval ručně. Z tohoto důvodu byla tato práce zdlouhavá, zvláště u desky procesoru.

Návrh DPS spočíval ve snaze o přizpůsobení rozměrů předem zvolené krabíčky. DPS pro indikační jednotku jsou dvě, na jedné desce se nachází všechny obvody včetně procesoru, ta je umístěna vodorovně na dně krabíčky a druhá deska, tvořící přední panel přístroje, je pomocí distančních podložek vsazena a přišroubována svisle do předem vytvořených otvorů předního panelu krabíčky. Na této desce se nachází displej, všechna tlačítka a LED diody signalizující zvolené funkce jednotky. Propojení s řídicí deskou je realizováno přes dvouřadé piny, které jsou na desce předního panelu spolu s konektory pro LED diody a klávesnici zapojeny z vnitřní strany krabíčky pro snadné připojení. Obě desky byly navrženy jako oboustranné s některými otvory navíc, které slouží jen k drátovému propojení mezi vrstvami.

## 6. Popis ovládání jednotky

### 6.1 Nastavení odměřování

Pro nastavení odměřování a volby smyslu odměřování je nutné před zapnutím napájení indikace stisknout tlačítko ENT, jeho podržení a zapnutí napájení, dokud se na displeji osy X neobjeví *inCr* ?



Obr. 22 – Volba změny inkrementu

Opakovaným stisknutím tlačítka ESC je možné volit mezi tímto nastavením inkrementu a nastavením smyslu načítání jednotlivých souřadnic *dir* ?. Pro změnu zobrazovaného nastavení je nutné stisknout tlačítko ENT.



Obr. 23 – Obě položky menu

Aktuálně nastavený přírůstek signalizuje blikáním možnost změny. Tuto hodnotu lze měnit na 1, 2 nebo 5 $\mu$ m. Zadáním čísla z klávesnice a stisknutím tlač. ENT dojde k uložení nové hodnoty. Při změně parametru smyslu načítání tlač. ENT dojde k blikání první hodnoty (osy X). Změna je možná pouze na hodnotu 0 nebo 1 (kladný nebo záporný směr). Potvrzením tlač. ENT začne blikat hodnota osy Z. Pokud není požadována změna, stisknout tlač. ESC. Návrat do normálního režimu odměřování je tlačítkem desetinné tečky. Tato nastavení jsou uložena v trvalé paměti EEPROM.

### 6.2 Popis funkcí

Tato indikační jednotka umožňuje následující funkce:



Obr. 24 – Funkce jednotky

Aktivace každé funkce je signalizována rozsvícením příslušné LED diody.

**Průměr (DIA)** - volbou této funkce je hodnota osy X zdvojnásobena. Používá se především u příčné osy X soustruhů.

**Dělení (1/2)** - slouží k hledání středu obrobku. Při zapnutí této funkce je nutné zvolit osu, ve které je požadováno dělení. Najetím na jednu hranu obrobku, vynulováním osy, najetím na druhou hranu obrobku a aktivováním funkce je hledaný střed v poloze 0.

**Palce(Inch)** - údaj se převede na palce a desetinné místo se posune o jednu pozici doleva.



Obr. 25 – Zobrazené palce

**Inkrementální odměřování (Inc)** - tato volba umožňuje změnu odměřování z absolutního na inkrementální. Aktivací tohoto režimu dojde k zobrazení nulových hodnot, které tak vyjadřují nezadanou hodnotu..



Obr. 26 – Aktivování funkce inkrementálního režimu

Stiskem tlačítka X nebo Z je možné zadat požadovanou hodnotu. Např: zadání hodnoty pro osu X v kladném směru 12,580 mm



Obr. 27 – Zadaná hodnota osy X

Tato hodnota se potvrzuje tlačítkem ENT, poté je umožněno odměřování a pohybem osy X v kladném směru dojet na 0, kdy je odjeto zadaná vzdálenost. Zadání hodnoty je možné v obou osách, např. po zadání předchozí hodnoty je požadována také hodnota v záporném směru v ose Z. Stisknutí tlačítka osy Z, zadání -563,741 mm a potvrzení tlačítkem ENT.





Obr. 28 – Zadaná hodnota osy Y

Dojížděním na nulovou hodnotu je značně usnadněna obsluha stroje, jelikož není nutné si pamatovat kótu. Zvláště, pokud se jedná o nějaké „nekulaté číslo“. Po deaktivaci tohoto režimu je zobrazena absolutní hodnota.

## 7. Popis komerčně vyráběných číslicových indikací

Pro porovnání vlastností mnou navržené jednotky, uvádím stručný popis dvou komerčně vyráběných odměřovacích jednotek, se zaměřením na rozdíly v parametrech a doplňkových funkcí. Tato srovnání byla posuzována na základě průvodních dokumentací. Obě jednotky jsou od stejného výrobce odměřovacích zařízení, firmy I&TS s.r.o. Kolín.

### 7.1 NS-115R

Jednotka je určena k vyhodnocení signálů z odměřovacích fotoelektrických snímačů. Je koncipována tak aby plně nahradila indikace NS112,113,114 a 115 vyráběné fy. TESLA Kolín a to i rozměrově. [22]



Obr. 29 - NS-115R [22]

Fotoelektrické inkrement. snímače (dále jen snímače) musí mít výstupní signály v úrovních TTL nebo RS422. Jednotka NS ve spojení s vhodným snímačem může být použita jako odměřovací soustava u obráběcích strojů, měřících přípravků apod. Zvláště vhodné je použití u starších obráběcích strojů, kde může zcela nahradit optické a jiné měřicí soustavy a tím podstatně zvýšit produktivitu a komfort ovládání stroje. [22]

Jednotka je vybavena digitálními vstupy 3 ks a výstupy 2 ks. Vstupy a výstupy jsou galvanicky odděleny. Jeden vstup a jeden výstup může být konfigurován jako blok sériového komunikačního rozhraní. Pak může být zapojena pomocí adaptéru na sériové rozhraní personálního počítače třídy PC/XT/AT nebo jiného podobného zařízení. Vyhodnocované rozměry jsou potom přenášeny do tohoto zařízení. Na jeden kanál počítače může být připojeno současně až 16 jednotek NS. [16]

Není-li využito snímání dat personálním počítačem, může jednotka NS přímo ovládat vypnutí posuvu u obráběcích strojů v těsné blízkosti před nastaveným rozměrem. Okamžik vypnutí posuvu je závislý na skutečné rychlosti a při instalaci jednotky je možné nastavit takovou konstantu, která zabezpečí zastavení posuvu s přesností cca 0,1 mm před zadaným cílem z jakékoli rychlosti. [22]

<b>Napájecí napětí</b>	12 - 24 V AC/DC
<b>Příkon</b>	5 VA
<b>Pracovní teplota</b>	+5 až +45°C
<b>Rozsah odměřování</b>	6 dekád + znaménko
<b>Jednotka zobrazení</b>	mm / inch
<b>Výška znaků</b>	25 mm (červené / zelené)
<b>Rozlišovací schopnost</b>	0,01 / 0,001 mm
<b>Odměřovací čidlo</b>	IME, IRC, ILC
<b>Stupeň krytí</b>	IP-40
<b>Volba počátku</b>	15 souřadných systémů

Tab. 6 - Parametry jednotky NS-115R [22]

Popis funkcí z hlediska obsluhy:

- zobrazení polohy od referenčního bodu nebo od místa zapnutí jednotky, pokud nebyla dosud reference najeta - registr R0
- zobrazení polohy z registru, který může být nulován kdekoli v rozsahu měřené souřadnice a nebo v něm může být zapsáno jakékoli číslo - registry R1 až R15
- rozpůlení právě indikované souřadnice
- přepínání zobrazení v jednotkách metrických a palcích
- přepínání poloměr / průměr
- měření a indikace rychlosti posuvu,
- zobrazení pracovního času (stopky)
- najetí na referenční bod

**Cena 7 000,-Kč bez DPH**

## 7.2 IP-390

Indikace polohy řady IP390 uspokojí i náročného uživatele. Je určena k vyhodnocení signálů z odměřovacích snímačů a na základě zpracování těchto signálů k výpočtu a zobrazení souřadnic. Ve spojení s vhodnými snímači polohy může být použita pro indikaci polohy nástroje na obráběcích strojích. Zvláště vhodné je použití u starších obráběcích strojů, kde může zcela nahradit optické a jiné měřicí soustavy a tím podstatně zvýšit produktivitu práce a komfort ovládání stroje. [21]

Jako odměřovací snímače mohou být použity např. fotoelektrické inkrementální rotační snímače (např. IRC LARM), fotoelektrické inkrementální lineární snímače (např. ILC LARM) a jiné snímače s pravouhlým dvoufázovým výstupem v úrovních TTL a RS422. Pro verzi RDC mohou být použity snímače s principem resolveru. [21]

Jednotka IP390 může zpracovat 1 až 6 souřadných os a zobrazovat na 1 až 3 alfanumerických displejích (dle provedení). Pro zachytávání polohy souřadných os může být použita 3D dotyková sonda např. HEIDENHAIN KT 130. [21]

Souřadnice mohou být zobrazovány v 51 registrech (souřadných soustavách), z nichž registr č. 0 je pevně orientován k referenčnímu bodu nebo k místu zapnutí stroje. Registry č. 1 až 50 mohou být libovolně nastaveny. [21]

V každém registru může být zadáno až 29 cílů. Cíle lze zadávat v prostoru X, Y, Z, resp. X, Y, W, nebo v rovině X, Y jako body na kružnici, nebo body v rastru X, Y. [21]



Obr. 30 - IP-390 [21]

<b>Napájecí napětí</b>	12 - 24 V AC/DC
<b>Příkon</b>	14 VA
<b>Pracovní teplota</b>	+5 až +50°C
<b>Rozsah odměřování</b>	7 dekád + znaménko
<b>Jednotka zobrazení</b>	mm / inch
<b>Výška znaků</b>	20 mm (červené / zelené)
<b>Rozlišovací schopnost</b>	0,01 / 0,001 mm
<b>Odměřovací čidlo</b>	IME, IRC, ILC
<b>Stupeň krytí</b>	IP-54
<b>Klávesnice</b>	18 tlačítek
<b>Seriové rozhraní</b>	2x RS-232/422/485
<b>Displej</b>	alfanumerické LED (červené/zelené)
<b>Dotyková sonda</b>	1x vstup
<b>Referenční spínače</b>	1 - 6 vstupů

Tab. 7 - Parametry jednotky IP-390 [21]

Popis funkcí z hlediska obsluhy jsou oproti předchozímu modelu NS-115R doplněny o:

- 30 pamětí v každé souřadné soustavě
- součet/rozdíl více os na jednom displeji
- rozpočítání bodů na kružnici nebo na její části
- rozpočítání bodů v rastru
- funkce s využitím dotykové sondy
- digitální regulace jasu

**Cena 27 000,-Kč bez DPH**

## 8. Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a zkonstruovat číslicovou odměřovací jednotku, která bude ve spojení s inkrementálním snímačem odměřovat polohu souřadnice. Využití mnou zkonstruované odměřovací jednotky je univerzální. Vzhledem ke schopnosti odměřovat dvě souřadnice, je její ideální využití např. u soustruhu, nebo jiného dvouosého stroje.

Nejprve jsem popsal způsoby snímání polohy, snímače polohy, jejich princip činnosti a také vyhodnocovací zařízení – číslicovou indikaci. Dále jsem navrhnul hardware jednotky, blokové schéma zapojení, popsal důvody použití jednotlivých obvodů, a jejich činnost. U každého obvodu jsem také uvedl programovou část, komunikaci s procesorem a doplnil krátkou ukázkou zdrojového kódu.

Možnosti, jakými budu zpracovávat příchozí signály od snímače bylo několik. Jednou z možností bylo softwarové zpracování procesorem. Další možností bylo použití kvadrurního dekodéru jako např. LS7183 (7184), nebo naprogramované hradlové pole, zapojených s obousměrným čítačem, tvořeným z obvodů jako např. 40193B. Nakonec jsem se rozhodl pro obvod HCTL2032, který obsahuje jak dekodér, tak i 32-bitový obousměrný čítač. Navíc obsahuje vstupní filtr proti rušivým signálům a umožňuje připojení dvou snímačů.

Pro zobrazení je nejvhodnější použití LED displeje, pro jeho výbornou čitelnost i na větší vzdálenost. Vzhledem k velkým nárokům na piny portů, jsem pro zobrazení polohy obou souřadnic, zvolil obvody MAX7219, které komunikují s procesorem přes sběrnici SPI po 4 vodičích. Tím jsem také předešel možným problémům pohasínání displeje při větší zátěži procesoru.

Pro snadnější ovládání jednotky bylo také nutné použití klávesnice pro zadávání číselné hodnoty. Softwarové řešení by znamenalo určitou zátěž pro procesor a také více obsazených pinů procesoru, proto jsem zvolil obvod MM74C923. Tento obvod odstraňuje zákmity tlačítek a není nutná softwarová úprava v programu.

Následující část se týká samotné konstrukce jednotky, návrhu DPS, a popisu programu. Program je napsán ve vývojovém prostředí MikroC. Tento překladač nabízí mnoho užitečných knihoven, které jsem ve svém programu využil jako např. komunikace s modulem USART, čtení a zápis do EEPROM, různé převody apod. Ve spojení se simulačním programem Proteus také umožňuje otestovat sériovou komunikaci přes Terminál.

Skříňka jednotky je vytvořena v rámci možností. Klávesnice je realizována jednotlivými tlačítky. Mezera mezi hmatníky tlačítek a otvorem předního panelu způsobuje nevhodné krytí. Vniknutí třísky, nebo kapaliny může způsobit chybnou činnost. Vhodnější by bylo použití membránové klávesnice.

V závěru uvádím popis dvou komerčních číslicových indikací firmy I&TS s.r.o.. Zvolil jsem jeden základní model a také jednotku, která splňuje náročné požadavky pro digitální odměřování ručně ovládaných strojů. Smyslem tohoto srovnání je spíše poukázat na další možnosti vylepšení mé konstrukce. Obě uvedené jednotky, především model IP-390, nabízí větší množství funkcí, ověřenou stabilitu a kvalitní provedení. Jako přednost mé konstrukce oproti modelu NS-115R bych uvedl (vzhledem k použití klávesnice) komfortnější ovládání při zadávání hodnoty, větší počet míst displeje (8 míst) a především možnost připojení dvou snímačů. Tento model je však navržen jako přímá

náhrada již zastaralých jednotek NS-115 a připojení dalšího snímače je řešeno přidáním další indikace. Také cena mé konstrukce je mnohem nižší. Celkové náklady dosáhly cca 2 000,-Kč.

Tato bakalářská práce mi umožnila detailně pochopit princip snímání polohy a na základě těchto znalostí zvolit vhodný způsob odměřování. Rozšířil jsem si znalosti programování v jazyce C a také jsem získal nové zkušenosti s návrhem procesorem řízených obvodů. Bylo nutné nastudovat různé katalogové listy a tyto informace použít při návrhu konstrukce. I přes některé nedostatky mé konstrukce se jedná o funkční odměřovací jednotku, která plně nahradí základní modely komerčně vyráběných indikací. Během testování nedošlo k žádným problémům se stabilitou a vše fungovalo podle předpokladů.

## Použitá literatura

- [1] Koňář Václav. Výuka CAD/CAM [online]. 2007, [cit. 2009-12-20].  
<[http://vkonar.ic.cz/dokumenty/zaklady\\_prog/popis\\_CNC.pdf](http://vkonar.ic.cz/dokumenty/zaklady_prog/popis_CNC.pdf)>
- [3] Ing. František Moučka. MM Průmyslové spektrum [online]. 2003, [cit. 2009-12-10].  
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/pouziti-linearnich-induktivnich-meritek-na-strojich>>
- [4] LARM, ARC 400-425 Data Sheet, [pdf]. 2010, [cit.2010-01-15].  
<<http://www.larm.cz/CZ/katalogy/snimace/ABSOLUTNI%20SNIMACE%20ARC4xx.pdf>>
- [5] Ústav mechatroniky a technické informatiky, Technická univerzita v Liberci. Snímače otáček a polohy [online]. 2009, [cit. 2009-12-02].  
<[http://www.mti.tul.cz/files/svm/Snimace\\_polohy.pdf](http://www.mti.tul.cz/files/svm/Snimace_polohy.pdf)>
- [6] Ing. Ladislav Šmejkal, CSc. Automatizace s.r.o. [online]. 2005, [cit. 2009-12-20].  
<<http://www.automatizace.cz/article.php?a=988>>
- [7] IRC120, Návod; ZPA Košiče: Košiče, 1983.
- [8] LARM, IRC 300-325 Data Sheet, [pdf]. 2010, [cit.2010-01-15].  
<<http://www.larm.cz/CZ/katalogy/snimace/czIRC300-325%20.pdf>>
- [9] MARTIN INTERAMERICANA s.r.o. [online]. [cit. 2009-12-15].  
<[http://www.martininteramericana.cz/cz/\\_\\_\\_-snimace-polohy/\\_\\_\\_-magneticke-snimace-polohy](http://www.martininteramericana.cz/cz/___-snimace-polohy/___-magneticke-snimace-polohy)>
- [10] REM-Technik s.r.o. [online]. [cit. 2010-01-21].  
<[http://www.rem-technik.cz/pdf/Fraba\\_Posital\\_katalog\\_CZ.pdf](http://www.rem-technik.cz/pdf/Fraba_Posital_katalog_CZ.pdf)>
- [11] Avago Technologies, HCTL2032 Data Sheet, [pdf]. 2003, [cit.2010-01-18].  
<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/9/0pwko2dju37tu51lp5cltg8eso3y.pdf>>
- [12] Microchip Technology Incorporated, PIC16F87X Data Sheet, [pdf]. 2001, [cit.2009-12-18].  
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>>
- [13] Maxim Integrated Products, MAX7219 Data Sheet, [pdf]. 2003, [cit.2010-01-13].  
<<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX7219-MAX7221.pdf>>
- [14] National Semiconductor, MM54C923 Data Sheet, [pdf]. 1993, [cit.2010-02-10].  
<[http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/M/M/7/4/MM74C923.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/M/M/7/4/MM74C923.shtml)>
- [15] Maxim Integrated Products, MAX232 Data Sheet, [pdf]. 2002, [cit.2010-01-08].  
<[http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/M/A/X/2/MAX232.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/M/A/X/2/MAX232.shtml)>
- [16] Heidenhain, Číslicové indikace pro ručně ovládané obráběcí stroje. [pdf]. [cit.2009-12-21].  
<[http://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/559\\_542-C0.pdf](http://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/559_542-C0.pdf)>



- [17] Heidenhai., Servisní příručka snímačů polohy; Praha 2007.
- [18] Katedry řídicí techniky ČVUT-FEL Praha [online]. 2010, [cit. 2009-12-14].  
<[http://dce.felk.cvut.cz/zri/podklady/Inkrement\\_snimac.pdf](http://dce.felk.cvut.cz/zri/podklady/Inkrement_snimac.pdf)>
- [20] I&TS, spol. s r.o. [online]. [cit. 2010-03-11].  
<<http://www.iats.cz/iats/clanek.asp?id=62>>
- [21] I&TS, spol. s r.o. , IP-390 user manual, [pdf]. 2009, [cit.2010-02-12].  
<[http://www.iats.cz/iats/support/IP390\\_user\\_manual.pdf](http://www.iats.cz/iats/support/IP390_user_manual.pdf)>
- [22] I&TS, spol. s r.o. , NS-115R Průvodní dokumentace, [pdf]. 2009, [cit.2010-01-14].  
<[http://www.iats.cz/iats/support/NS\\_user\\_manual.pdf](http://www.iats.cz/iats/support/NS_user_manual.pdf)>
- [23] Comrehensive museum of network [online]. 2006, [cit. 2010-02-15].  
<<http://kepu.ccut.edu.cn/100k/read-htm-tid-2449.html>>
- [24] Doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc. Mechanizace a automatizace [online]. 2006, [cit. 2010-01-15].  
<[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/mechanizace\\_a\\_automatizace\\_\\_ucebni\\_texty\\_\\_rumisek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/mechanizace_a_automatizace__ucebni_texty__rumisek.pdf)>

## Seznam příloh

I.	Seznam součástí .....	1
II.	Vrchní strana řídicí DPS .....	2
III.	Spodní strana řídicí DPS .....	3
IV.	Řídicí DPS - osazení součástkami .....	4
V.	Vrchní strana přední DPS .....	5
VI.	Spodní strana přední DPS .....	6
VII.	Přední DPS - osazení součástkami .....	7
VIII.	Přední DPS - Schéma zapojení .....	8
IX.	Řídicí DPS - Schéma zapojení .....	9
X.	Vývojový diagram programu .....	10
XI.	Fotografie dokončené jednotky .....	11